

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

①2 **Offenlegungsschrift**  
①0 **DE 198 08 383 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 23 K 9/09**  
B 23 K 9/095  
B 23 K 9/16

②1 Aktenzeichen: 198 08 383.1  
②2 Anmeldetag: 27. 2. 98  
④3 Offenlegungstag: 2. 9. 99

DE 198 08 383 A 1

⑦1 Anmelder:  
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

⑦2 Erfinder:  
Jüttner, Sven, 38444 Wolfsburg, DE; Artelsmair,  
Josef, Wartberg, AT

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

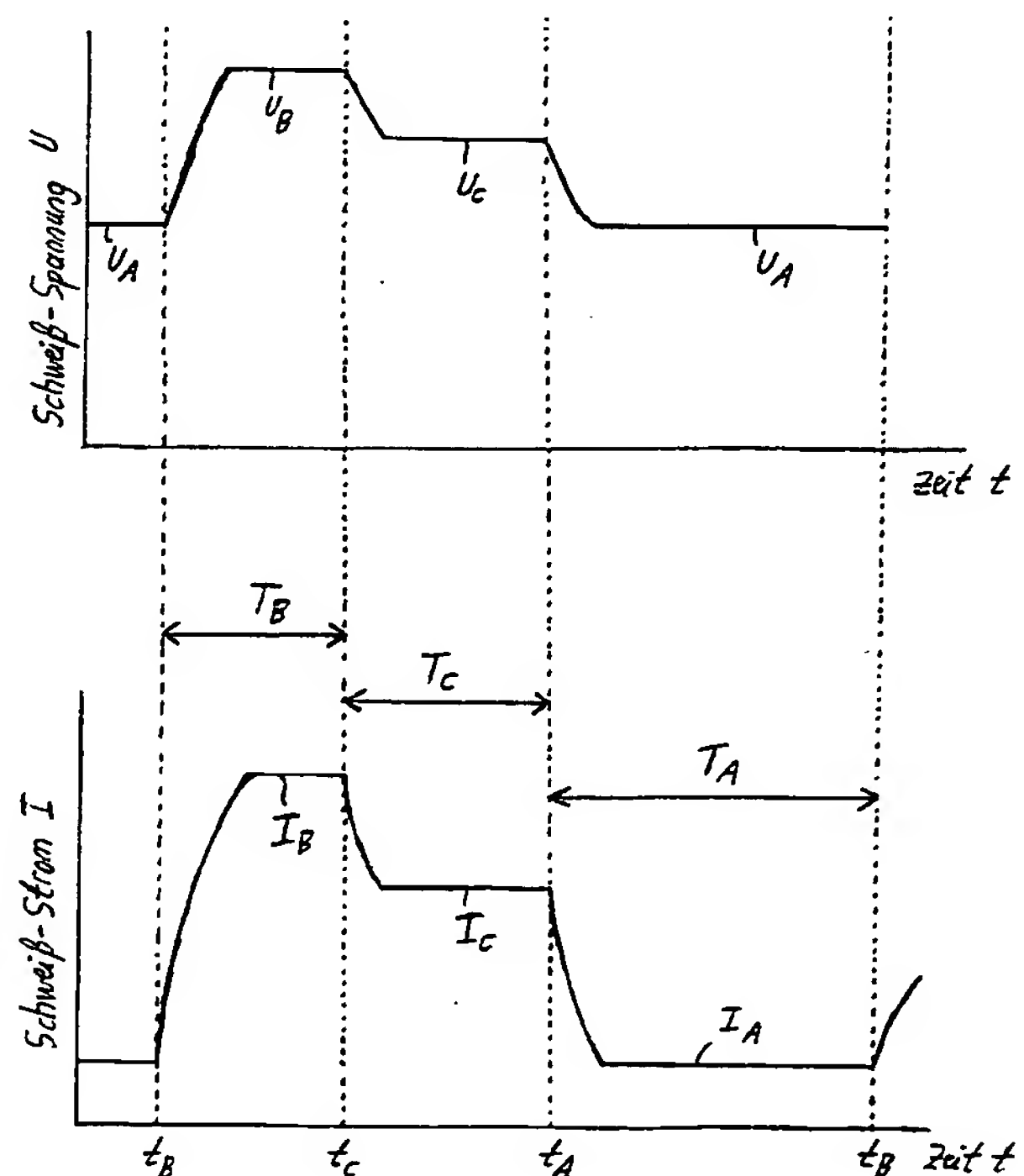
DE 195 17 875 A1  
DE 41 29 247 A1  
DE 32 13 278 A1  
AT 2 83 862  
GB 11 12 511  
US 54 16 299 A  
US-RE 33 330  
US 50 17 757  
EP 07 74 317 A1  
EP 07 15 921 A2

REYNOLDS, Jon: A New Process for Thin Gauge  
Aluminum. In: Welding Journal, 1980/7, S.23-27;  
JP 1-157772 A., In: Patents Abstracts of Japan,  
M-872, Sep. 9, 1989, Vol. 13, No. 420;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren zum Metall-Schutzgas-Lichtbogen-Schweißen (MIG/MAG-Schweißen) von zwei oder mehreren  
Fügepartnern

⑤7 Bekannte Metall-Schutzgas-Lichtbogen-Schweißver-  
fahren (MIG-/MAG-Schweißverfahren), insbesondere Impulslichtbogen-Schweißverfahren und Kurzschlußlicht-  
bogen-Schweißverfahren, sind für das Verschweißen von  
Fügepartnern aus Leichtmetallwerkstoffen, insbesondere  
Magnesiumlegierungen, wenig geeignet. Es treten beim  
Verschweißen dieser Werkstoffe schlechte Nahtqualitäten  
und eine große Anzahl von Schweißspritzern auf.  
Zur Verbesserung der Schweißbarkeit von Leichtmetall-  
Werkstoffen, insbesondere Magnesiumlegierungen, wird  
ein Impulslichtbogen-Schweißverfahren vorgeschlagen,  
bei dem die Schweißstromquelle zeitlich zwischen dem  
Impulsschweißstrom-Zustand B und dem Grundschiweiß-  
strom-Zustand A jeweils einen weiteren Zustand C (Nach-  
puls-Zustand) geschaltet wird, in dem ein Schweißstrom  
 $I_C$  fließt, dessen Stärke geringer als die des Impuls-  
schweißstroms  $I_B$  in Zustand B, aber größer als die des  
Grundschiweißstroms  $I_A$  in Zustand A ist.  
Ebenso wird ein verbessertes Kurzschlußlichtbogen-  
Schweißverfahren vorgeschlagen, bei dem am Ende der  
Kurzschlußphase K bzw. zu Beginn der Lichtbogenphase L  
die Schweißstromquelle gesteuert in einen Zustand N  
(Nachpulsphase) geschaltet wird, in dem ein Schweiß-  
strom fließt, dessen Stärke  $I_N$  kleiner als die maximale  
Stromstärke  $I_3$  in der Kurzschlußphase K und größer als  
die minimale Stromstärke  $I_1$  in der Lichtbogenphase L ist.



Das Metall-Schutzgas-Lichtbogen-Schweißen (auch Metall-Inertgas-Lichtbogenschweißen oder Metall-Inertgas-Schweißen oder kurz MIG-/MAG-Schweißen genannt) wird seit langer Zeit für das Verschweißen von Stahlblechen erfolgreich eingesetzt. Beim Metall-Schutzgas-Lichtbogenschweißen brennt ein mittels einer elektrischen Schweißstromquelle erzeugter Lichtbogen zwischen einer abschmelzenden Metallelektrode, die gleichzeitig den Schweißzusatz darstellt, und dem Schweißschmelzbad an dem bzw. den Werkstücken. Das Schutzgas ist inert wie Argon, Helium oder ihre Gemische (MIG-Schweißen) oder es besteht aus einem sogenannten Aktivgas (MAG-Schweißen). Dieses Aktivgas ist z. B. Kohlendioxid (MAGC-Schweißen) oder ein Gasgemisch aus Argon und Kohlendioxid (MAGM-Schweißen).

Im Laufe der Zeit haben sich für das Metall-Schutzgas-Lichtbogenschweißen (MIG-/MAG-Schweißen) verschiedene Verfahrensvarianten entwickelt, die je nach Wahl des Schutzgases und der Schweißparameter eingeteilt werden. Diese Varianten werden als Kurz(schluß)lichtbogen-, Sprühlichtbogen-, Rotationslichtbogen-, Langlichtbogen- und Impulslichtbogen-Schweißen bezeichnet und sind in dem Buch "Handbuch der Schweißverfahren" von Robert Killing, Teil 1: Lichtbogenschweißverfahren, DVS Verlag Düsseldorf, 2. Auflage 1991 genauer dargestellt.

Beim Impulslichtbogen-Schweißen wird die elektrische Schweißstromquelle periodisch mit einer Frequenz  $f = 1/T$  zwischen zwei Kennlinien-Zuständen A und B umgeschaltet. Dadurch fließen abwechselnd im (Grund-)Zustand A ein niedriger (Grund-)Schweißstrom  $I_A$  und im (Impuls-)Zustand B ein höherer (Impuls-)Schweißstrom  $I_B$ . Der Grundstrom hat die Aufgabe, die Ionisation der Lichtbogenstrecke aufrecht zu erhalten, um mit dem Lichtbogen das Metalldrahtelektrodenende und die Werkstückoberfläche vorzuwärmen und anzuschmelzen. Der Werkstoffübergang erfolgt nahezu ausschließlich nach dem Schmelzen des Metalldrahtelektrodenendes in der Impulsphase. Je nach eingestellter Schweißparameterkombination lösen sich je Impuls ein oder mehrere Tropfen von der Drahtelektrode ab. Neben Grund- und Impulsschweißstromstärke tritt als weiterer Schweißparameter die von Grundstromzeit  $t_A$  und Impulsstromzeit  $t_B$  abhängige Impulsfrequenz  $f$ . Sie ist bei modernen Schweißstromquellen stufenlos einstellbar. Die Impulslichtbogentechnik wird insbesondere bei mitteldünnen Stahlblechen (Blechdicken größer als 1,5 bis 2,5 mm) angewandt, wenn eine gute Schweißnahtoberfläche und ein ruhiger Schweißprozeß gefordert ist, sowie beim Schweißen in Zwangslagen. Bei korrekter Einstellung der Schweißparameter erfolgt der Werkstoffübergang zumindest im wesentlichen kurzschlußfrei.

Der Kurzlichtbogen ist charakteristisch für das Schweißen mit geringer Abwärmebringung. Es ist beim MIG-, MAGM- und MAGC-Verfahren möglich. Während der Lichtbogenbrennzeit (Lichtbogenphase L) wird zwar der Grundwerkstoff aufgeschmolzen, es löst sich aber kein Schmelztropfen von der Elektroden spitze. Durch die kontinuierliche Drahtzufuhr und das Tropfenwachstum kommt es zum Kurzschluß zwischen Elektrode und Schmelzbad. Der daraufhin im Kurzschlußzustand K fließende hohe Kurzschlußstrom schnürt einen Tropfen ab, und es entsteht wieder durch ein Metaldämpfe dialysierter Spalt, so daß der Lichtbogen neu zünden kann (Lichtbogenphase L). Beim Kurzlichtbogenprozeß findet also in mehr oder weniger regelmäßigem Wechsel ein Zünden und Erlöschen des Lichtbogens statt. Der Werkstoff geht ausschließlich in der Kurzschlußphase K über. Der Kurzlichtbogenprozeß findet An-

wendung insbesondere beim Schweißen von dünnen Stahlblechen (Blechdicken kleiner als 1,5 bis 2,5 mm), von einseitigen Wurzelhaken an dickeren Blechen und beim Schweißen in Zwangspositionen.

Hinsichtlich des Schweißens von Leichtmetallwerkstücken, z. B. Leichtmetall-Gußteilen oder Leichtmetallblechen, sind die bekannten MIG-/MAG-Schweißverfahren, die für das Schweißen von Stahlblechen entwickelt wurden, nicht optimal. Im Vergleich zu Eisenwerkstoffen sind Aluminium und Magnesium sowie ihre Legierungen wesentlich leichter verdampfbar, da sie einen geringeren Schmelzpunkt, eine geringere Verdampfungstemperatur sowie eine geringere Wärmekapazität besitzen. Aufgrund ihrer relativ hohen chemischen Reaktivität können sich Schwierigkeiten durch die sich auf den Leichtmetall-Oberflächen ausbildenden Oxidschichten ergeben.

Es besteht daher die Aufgabe, die bekannten Metall-Schutzgas-Lichtbogenschweißverfahren (MIG-/MAG-Schweißverfahren) insbesondere für das Schweißen von einem oder mehreren Werkstücken aus Leichtmetallen bzw. Leichtmetalllegierung zu optimieren.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 sowie durch ein Verfahren gemäß Anspruch 18 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand von Unteransprüchen.

Bei Versuchen der Anmelderin hat sich gezeigt, daß das ursprünglich für Eisenwerkstoffe entwickelte Standard-Impulslichtbogenschweißen insbesondere bei Werkstücken aus Leichtmetalllegierungen und hier insbesondere aus Magnesiumlegierungen unbefriedigend arbeitet. Die Impulslichtbogen-Schweißtechnik wird bevorzugt ab Blechdicken von etwa 1,5 bis 2,5 mm eingesetzt, wie sie häufig im Kraftfahrzeug-Karosseriebau auftreten. Bei Magnesiumlegierungswerkstoffen zeigte ein Schweißprozeß mit konventionellen MIG-Impulslichtbogen-Schweißanlagen keinen stabilen Schweißprozeß, sondern es kam zu zahlreichen Schweißspritzern, die wiederum die Oberfläche der zu verschweißenden Werkstücke beschädigen oder verändern und ein Sicherheitsproblem für die Bedienungsperson der Schweißanlage darstellen. Die Schweißspritzer sind unter anderem auf die geringe Strombelastbarkeit der Magnesiumlegierung-Schweißdrähte zurückzuführen: Beim Stromimpuls des Zustands B verdampft ein Teil der Magnesiumschmelze an der Schweißdrahtspitze mit der Folge, daß der Schweißtropfen in mehrere Einzeltropfen zerplatzt, was zu Spritzern führt. Verringert man lediglich die Stromstärke  $I_B$  im Zustand B oder dessen Zeitdauer  $T_B$ , so kann der Magnesium-Schmelztropfen nicht mehr sicher vom Magnesium-Schweißdraht gelöst werden, da sich Magnesium bzw. eine Magnesiumlegierung im Vergleich zu einem Eisenwerkstoff sehr viel schwerer vom gleichartigen Elektrodenmaterial löst.

Erfindungsgemäß wird daher die Schweißstromquelle beim Verfahren gemäß Anspruch 1 zeitlich zwischen dem Grundstromzustand A und dem Impulsstromzustand B in einen weiteren Zustand C umgeschaltet, in dem ein Strom  $I_C$  fließt, und dessen Stromstärke zwischen der des Grundschweißstromes  $I_A$  und des Impulsschweißstromes  $I_B$  liegt. Durch diesen weiteren, dem Impulsschweißstromzustand B nachgeschalteten Stromzustand C wird die Ablösung des an der Schweißelektrode gebildeten Schmelztropfens auf niedrigerem Stromniveau gesichert, wodurch die Gefahr einer Werkstoffverdampfung wesentlich verringert bzw. vollständig vermieden wird. Durch das erfindungsgemäße Verfahren nach Anspruch 1 und dessen Weiterbildungen wird somit die Qualität einer im Metall-Schutzgas-Impulslichtbogen-Schweißverfahren erzeugten Schweißnaht erhöht und eine mögliche Gefährdung des Bedienungspersonals der



Schweißanlage durch Schweißspritzer sicher vermieden.

Es hat sich gezeigt, daß besonders gute Ergebnisse erzielt werden, wenn die Zeitdauer  $T_C$  des Zustands C zwischen einem Zehntel und dem Zehnfachen, insbesondere zwischen einem Viertel und dem Vierfachen der Zeitdauer  $T_A$  des Zustandes A liegt. Besonders bevorzugt wird, daß die Zeitdauer  $T_C$  des Zustands C etwa gleich der Zeitdauer  $T_A$  des Zustands A ist.

Für die im Fahrzeug-Karosseriebau besonders häufig anzutreffenden Blechdicken von 1 bis wenigen mm haben sich, insbesondere für das Verschweißen von Magnesiumlegierungs-Werkstoffen, Zeitdauern  $T_C$  des Zustands C von 0,1 ms bis 100 ms, insbesondere 0,5 ms bis 50 ms, bevorzugt 1 ms bis 10 ms, besonders bevorzugt 2 ms bis 3 ms, besonders bewährt.

Ebenso hat es sich besonders bewährt, die Schweißstromstärke  $I_C$  im Zustand C etwa hälftig zwischen der Impulsschweißstromstärke  $I_B$  im Zustand B und der Grundschweißstromstärke  $I_A$  im Zustand A zu wählen.

Selbstverständlich kann die Schweißstromquelle auch neben den Zuständen A, B und C während des Schweißens noch in weitere Zustände umgeschaltet werden. Es hat sich aber gezeigt, daß bereits ein Schweißen mittels dieser drei gewählten, beschriebenen Zustände A, B und C ein sicheres, spritzerarmes Impulslichtbogenschweißen von Metallteilen, insbesondere Magnesiumteilen, ermöglicht.

Bei Versuchen der Anmelderin hat sich gezeigt, daß die elektrische Schweißstromquelle vorteilhaft mittels einer elektrischen Stromregelung geregelt wird. Grundsätzlich ist es aber auch möglich, eine Regelung der elektrischen Schweißstromquelle durch eine Spannungsregelung oder eine Leistungsregelung vorzusehen.

Das ursprünglich für Eisenwerkstoffe entwickelte Standard-Kurzlichtbogenschweißen arbeitet, wie sich bei Versuchen der Anmelderin ebenfalls gezeigt hat, insbesondere bei Werkstücken aus Leichtmetall-Legierungen, und hier insbesondere Magnesiumlegierungen, ebenfalls unbefriedigend. Das Kurzlichtbogen- bzw. Kurzschlußlichtbogenschweißen wird bevorzugt bei Blechdicken von unterhalb 1,5 bis 2,5 mm angewandt, die ebenfalls häufig im Kraftfahrzeug-Karosseriebau auftreten. Bei Magnesium-Legierungswerkstoffen traten bei Versuchen der Anmelderin bei Schweißprozessen mit konventionellen Kurzlichtbogen-Schweißanlagen ebenfalls erhebliche Probleme auf. Die Tatsache, daß der Magnesium-Schmelztropfen eine wesentlich größere Haftung an einer Magnesium-Schweißdrahtelektrode zeigt als ein Eisenwerkstoff-Schmelztropfen an einer Eisenwerkstoff-Schweißdrahtelektrode beim Kurzlichtbogenschweißen von Eisenblechen, führt zu einem sehr unregelmäßigen Übergang des Schweißzusatz-Schmelzwerkstoffes in der Kurzschlußphase K, und zwar sowohl in zeitlicher als auch in mengenmäßiger Hinsicht. Das heißt, Kurzschlußphase K und Lichtbogenphase L wechseln zeitlich unregelmäßig miteinander ab, und die Größe des in der Kurzschlußphase K jeweils übergelassenen geschmolzenen Schweißzusatz-Werkstofftropfens aus der abschmelzenden Leichtmetallelektrode, insbesondere Magnesiumelektrode, ist sehr unregelmäßig. Dies führt zu Schweißnähten, die sowohl von der Festigkeit als auch vom Aussehen her eine schlechte Qualität besitzen. Es ist dabei zu beachten, daß beim Kurzlichtbogenschweißen – im Vergleich zum Impulslichtbogenschweißen – dieses Problem noch dadurch verschärft wird, daß keine zeitliche Steuerung des Schweißprozesses durch eine periodisch getaktet geschaltete Schweißstromquelle erfolgt, sondern daß der zeitliche Wechsel zwischen Kurzschlußphase K und Lichtbogenphase L durch die im wesentlichen periodisch ablaufenden Prozesse beim Schweißen selbst erfolgt. Daher wirken sich nicht optimale Bedingungen und

Schwierigkeiten beim Schweißen beim Kurzlichtbogenprozeß noch wesentlich stärker negativ auf die Nahtqualität aus als beim in höherem Maße von außen gesteuerten Impulslichtbogenprozeß.

5 Erfindungsgemäß wird die Schweißstromquelle beim Verfahren gemäß Anspruch 18 am Ende der Kurzschlußphase K bzw. zu Beginn der Lichtbogenphase L gesteuert in einen Zustand N (Nachpulsphase) geschaltet, in dem ein Schweißstrom  $I$  fließt, dessen Stärke  $I_N$  kleiner ist als die maximale Stromstärke  $I_3$  in der Kurzschlußphase K und größer ist als die minimale Stromstärke  $I_1$  in der Lichtbogenphase L. Es wird ergänzend darauf hingewiesen, daß bei einigen wenigen der alternierend ablaufenden Zyklen aus Lichtbogenphase L, Nachpulsphase N, und Kurzschlußphase K diese Stromstärkeverhältnisse auch ausnahmsweise einmal nicht erfüllt sein können, daß aber im Mittel über viele Phasenzyklen die angegebenen Stromstärkeverhältnisse korrekt erfüllt sind. Die vereinzelt möglichen Ausnahmen beruhen (wie beim erfindungsgemäßen verbesserten Kurzlichtbogen-Schweißverfahren bereits angedeutet) darauf, daß das Kurzlichtbogenschweißen – im Gegensatz zum Impulslichtbogenschweißen – zeitlich nicht durch eine getaktet umgeschaltete Schweißstromquelle, sondern durch den im wesentlichen periodisch ablaufenden Schweißprozeß selbst zeitlich gesteuert wird.

Es wird bevorzugt, daß die elektrische Schweißstromquelle des erfindungsgemäßen Kurzlichtbogen-Schweißverfahrens mittels einer elektrischen Stromregelung geregelt wird. Grundsätzlich ist aber auch eine Spannungs- oder eine Leistungsregelung möglich.

Im allgemeinen läuft das erfindungsgemäße Kurzlichtbogen-Schweißverfahren bevorzugt so ab, daß am Ende der Kurzschlußphase K die Stromstärke des Schweißstroms  $I$  zunächst auf einen Wert  $I_4$  abfällt, der kleiner als die maximale Stromstärke  $I_3$  in der Kurzschlußphase K und größer oder gleich der minimalen Stromstärke  $I_1$  in der Lichtbogenphase L ist. Die Stromstärke des Schweißstroms  $I$  kann anschließend wieder ansteigen; der Nachpuls N kann aber auch derart aussehen, daß die Stromstärke  $I$  gesteuert für einen gewissen Zeitraum auf diesen Wert  $I_4$  verbleibt, wobei der Stromstärkewert  $I_4$  kleiner als die maximale Stromstärke  $I_3$  in der Kurzschlußphase K und größer als die minimale Stromstärke  $I_1$  in der Lichtbogenphase L ist.

Wählt man einen anschließenden Wiederanstieg der Stromstärke  $I$  nach dem Abfall auf den Stromstärkewert  $I_4$ , so wird man bevorzugt den Wiederanstieg in dieser Nachpulsphase N durch einen gesteuert vorgebbaren Stromstärkegrenzwert  $I_{N,max}$  begrenzen, der kleiner oder gleich der maximalen Stromstärke  $I_3$  in der Kurzschlußphase K und größer als die minimale Stromstärke  $I_1$  in der Lichtbogenphase L ist. Der Schweißprozeß und die elektrische Schweißstromquelle können so ausgelegt sein, daß die Stromstärke  $I$  in der Regel bis auf diesen vorgebbaren Stromstärkegrenzwert  $I_{N,max}$  ansteigt und anschließend für einen gewissen Zeitraum auf diesem Wert verbleibt. Es kann aber auch sein, daß dieser vorgebbare Stromstärkegrenzwert  $I_{N,max}$  lediglich ein reiner Sicherheitsgrenzwert ist, der im normalen Schweißprozeß üblicherweise nicht erreicht wird.

Die wesentliche Funktion des gesteuert erzeugten Nachpulses N beim erfindungsgemäßen Kurzlichtbogen-Schweißverfahren besteht darin, die Schweißzusatz-Metallelektrode möglichst gesteuert und reproduzierbar an ihrem Ende anzuschmelzen, so daß eine möglichst konstante und reproduzierbare Größe des Schmelztropfens an der Metallelektrode für die nächste Kurzschlußphase K vorliegt. Wie eingangs erläutert, wird beim Kurzlichtbogenschweißen während der Lichtbogenphase L der Elektrodenwerkstoff angeschmolzen, es löst sich aber kein Schmelztropfen von

der Elektrodenspitze. Der Werkstoffübergang findet im wesentlichen erst in der Kurzschlußphase K statt, in der es durch den kontinuierlichen Vorschub der Schweißelektrode und das Wachstum des an der Metallschweißelektrode hängenden Tropfens zu einem Kurzschluß zwischen Schweißzusatz-Metallektrode und Schmelzbad kommt. Der daraufhin fließende hohe Kurzschlußstrom bewirkt einerseits ein weiteres rasches Abschmelzen der Metall-Schweißelektrode, die gleichzeitig den Schweißzusatz darstellt. Andererseits schnürt der hohe Kurzschlußstrom einen Tropfen ab. Im Gegensatz zu Eisenwerkstoffen haften Leichtmetallwerkstoffe, insbesondere Magnesiumlegierungen, wie gesagt stark am gleichartigen Elektrodenmaterial, so daß der abgeschnürte Tropfen oft unregelmäßig groß ausfällt und ein mehr oder weniger großer Anteil des aufgeschmolzenen Schweißzusatz-Werkstoffes an der Metall-Schweißelektrode verbleibt. Durch diesen zu Beginn der Lichtbogenphase L noch an der Metallektrode verbliebenen Rest-Schmelztropfen kommt es nun rascher zu einem erneuten Kurzschluß als bei einem vollständig abgeschnürten und abgelösten Tropfen. Das Ergebnis sind, wie bereits dargelegt, zeitliche Fluktuationen zwischen den Beginnen von aufeinanderfolgenden Kurzschlußphasen (d. h. schwankende Zykluszeiten Z des Kurzlichtbogen-Prozesses), verbunden mit unterschiedlich großen jeweils in den Kurzschlußphasen K übergehenden Werkstoffmengen aus der Schweißzusatz-Metallektrode. Daß dies zu einer schlechten Nahtqualität führt, ist ersichtlich. Der erfindungsgemäß eingesetzte Nachpuls N am Ende der Kurzschlußphase K bzw. zu Beginn der Lichtbogenphase L, der im wesentlichen von der Steuerung der Schweißstromquelle gesteuert wird, bewirkt ein kontrolliertes Anschmelzen der Schweißzusatz-Metallektrode. Das Anschmelzen der Schweißzusatz-Metallektrode findet somit in einem gesteuerten Prozeß statt, wodurch die Größe des Anschmelztropfens sehr gut reproduzierbar wird. Eine sehr gut reproduzierte Größe des Anschmelztropfens bewirkt wiederum einen sehr gut reproduzierten, schwankungsarmen zeitlichen Ablauf des Kurzlichtbogen-Schweißprozesses, und das Ergebnis ist eine wesentlich gleichmäßigere und somit in der Qualität verbesserte Schweißnaht, insbesondere bei Leichtmetallwerkstoffen.

Für einen sauber und reproduzierbar ablaufenden Kurzlichtbogenprozeß, insbesondere bei Leichtmetallwerkstoffen, ist es wichtig, daß die in der Nachpulsphase N eingebrachte Leistung möglichst gut konstant und reproduzierbar ist. Diesem Zweck kann der vorgebbare Stromstärkegrenzwert  $I_{N,max}$  dienen, auf den die Stromstärke I bei ihrem Wiederanstieg in der Nachpulsphase N nach dem Abfall auf den Stromstärkewert  $I_4$  höchstens ansteigen kann. Diesem Zweck kann es aber z. B. ebenfalls dienen, den Wiederanstieg in der Nachpulsphase N gesteuert mit einer vorgegebenen Stromanstiegsrampe ablaufen zu lassen. Außerdem gibt es die Möglichkeit, auch den Abfall der Stromstärke I am Ende der Nachpulsphase N in Richtung auf die minimale Stromstärke  $I_1$  der Lichtbogenphase L gesteuert ablaufen zu lassen. Dieser Abfall kann z. B. linear mit einer vorgegebenen Stromabfallrate erfolgen, er kann exponentiell mit einem vorgegebenen Exponenten der Exponentialfunktion erfolgen, oder er kann z. B. auch stufenweise in mehreren aufeinander folgenden Schritten erfolgen. Es hat sich gezeigt, daß es zur Vermeidung von Schweißspritzern günstig ist, die Stromstärke I am Ende der Nachpulsphase N mindestens so rasch in Richtung auf die minimale Stromstärke  $I_1$  in der Lichtbogenphase L abfallen zu lassen, daß – zumindest im wesentlichen – eine gleichbleibende minimale Lichtbogenphasen-Stromstärke  $I_1$  erreicht wird, bevor die nächste Kurzschlußphase K durch einen Kurzschluß startet. Setzt

der nächste Kurzschluß K nämlich noch ein, solange die Schweißstromstärke I noch relativ hoch ist, so treten vermehrt Schweißspritzer auf.

Die in der Nachpulsphase N in den Schweißprozeß eingebrachte elektrische Leistung, die die Größe des an der Schweißzusatz-Metallektrode anhaftenden Tropfens bestimmt, ist für jedes System optimal durch Versuche auszuwählen. Ist die elektrische Leistung zu klein gewählt, so stellt das Abschmelzen der Metallektrode in der Nachpulsphase N nicht mehr den dominierenden Abschmelzprozeß der Metallektrode dar, so daß zu große Unregelmäßigkeiten in der Tropfengröße bei aufeinander folgenden Zyklen auftreten und es wiederum zu den oben geschilderten schlechten Nahtqualitäten des konventionellen Kurzlichtbogen-Prozesses – wenn auch in vermindertem Maße – kommt. Wählt man umgekehrt – z. B. durch eine zu lange Nachpulsphase N – eine zu hohe in der Nachpulsphase N eingebrachte elektrische Leistung, so bildet sich an der Schweißzusatz-Metallektrode ein sehr großer Tropfen, und die Metallektrode brennt entsprechend sehr weit zurück. (Der Schmelztropfen hat einen größeren Querschnitt als die drahtförmige Metallektrode). Bis zum Beginn der nächsten Kurzschlußphase K vergeht durch dieses weitere Zurückbrennen bei konstant gehaltenem kontinuierlichen Elektrodenvorschub eine relativ lange Zeit. Dies führt zu einem grobschuppigen Aussehen der erzeugten Naht, und die Schweißleistung sinkt ab.

Um die im erfindungsgemäßen verbesserten Kurzlichtbogen-Schweißprozeß in das Schweißsystem in der Nachpulsphase N eingebrachte Leistung möglichst reproduzierbar zu halten, hat es sich deshalb besonders bewährt, für den Wiederanstieg der Stromstärke nach dem Abfall auf den Wert  $I_4$  einen gesteuert vorgebbaren Stromstärkegrenzwert  $I_{N,max}$  vorzusehen, der regelmäßig erreicht wird, und ferner vorzusehen, daß die Zeitdauer des Anstiegs und des Verbleibens auf dem vorgegebenen Stromstärkegrenzwert  $I_{N,max}$  zusammen genommen gesteuert eine gewisse Zeitspanne beträgt. Alternativ kann man natürlich auch die Stromstärke I gesteuert für einen gewissen Zeitraum auf diesem Stromstärkewert  $I_4$  belassen.

Es hat sich außerdem als vorteilhaft erwiesen, die Stromstärke I zu Beginn der Kurzschlußphase K nicht sofort ansteigen zu lassen, sondern gesteuert erst einen gewissen Verzögerungszeitraum, in dem die Stromstärke I zumindest im wesentlichen noch auf dem Wert der minimalen Lichtbogenphasen-Stromstärke  $I_1$  verbleibt, einzufügen. Dieser Verzögerungszeitraum führt ebenfalls zu einer Verminderung von Schweißspritzern.

Selbstverständlich ist es auch möglich, statt eines einzigen Nachpulses mehrere Nachpulse am Ende der Kurzschlußphase K bzw. zu Beginn der Lichtbogenphase L vorzusehen.

Die Erfindung wird im folgenden anhand mehrerer Ausführungsbeispiele, die in den beigefügten Zeichnungen erläutert sind, näher dargestellt. In den Zeichnungen zeigen:

**Fig. 1** ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Metall-Schutzgas-Lichtbogenschweißverfahrens gemäß Anspruch 1 (verbessertes Impuls-Lichtbogen-Schweißverfahren) anhand eines Schweißstrom-Schweißspannung-Zeit-Diagramms (I-U-t-Diagramms) in schematischer Darstellung;

**Fig. 2** ein Schweißstrom-Schweißspannung-Zeit-Diagramm eines realen Impulslichtbogen-Schweißprozesses ähnlich dem der **Fig. 1**;

**Fig. 3** ein Schweißstrom-Schweißspannung-Zeit-Diagramm eines konventionellen Impulslichtbogen-Schweißprozesses nach dem Stand der Technik in schematischer Darstellung;



**Fig. 4** ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Metall-Schutzgas-Lichtbogen-Schweißverfahrens gemäß Anspruch 18 (verbessertes Kurzlichtbogen-Schweißverfahren) anhand eines Schweißstrom-Schweißspannung-Zeit-Diagramms (I-U-t-Diagramms) in schematischer Darstellung;

**Fig. 5** ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Metall-Schutzgas-Lichtbogen-Schweißverfahrens gemäß Anspruch 18 (verbessertes Kurzlichtbogen-Schweißverfahren) anhand eines Schweißstrom-Schweißspannung-Zeit-Diagramms in schematischer Darstellung;

**Fig. 6** ein drittes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Metall-Schutzgas-Lichtbogen-Schweißverfahrens gemäß Anspruch 18 (verbessertes Kurzlichtbogen-Schweißverfahren) anhand eines Schweißstrom-Schweißspannung-Zeit-Diagramms in schematischer Darstellung;

**Fig. 7** ein Schweißstrom-Schweißspannung-Zeit-Diagramm eines realen Kurzschluß-Lichtbogen-Schweißprozesses ähnlich dem der **Fig. 6** als viertes Ausführungsbeispiel;

**Fig. 8** ein fünftes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Metall-Schutzgas-Lichtbogen-Schweißverfahrens gemäß Anspruch 18 (verbessertes Kurzlichtbogen-Schweißverfahren) anhand eines Schweißstrom-Schweißspannung-Zeit-Diagramms in schematischer Darstellung;

**Fig. 9** ein Schweißstrom-Schweißspannung-Zeit-Diagramm eines konventionellen Kurzlichtbogen-Schweißprozesses nach dem Stand der Technik.

In **Fig. 1** ist ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen verbesserten Impuls-Lichtbogen-Schweißverfahrens gemäß Anspruch 1 schematisch anhand eines (vereinfachten) Schweißstrom-Schweißspannung-Zeit-Diagramms (I-U-t-Diagramms) dargestellt. Im Vergleich dazu zeigt **Fig. 3** einen konventionellen Impulslichtbogen-Schweißprozeß nach dem Stand der Technik (gemäß "Handbuch der Schweißverfahren" von Robert Killing, Teil 1: Lichtbogenschweißverfahren, DVS Verlag Düsseldorf, 2. Auflage 1991).

Wie aus **Fig. 3** ersichtlich ist, wechseln beim konventionellen Impulslichtbogen-Schweißverfahren Zeitspannen  $T_A$ , in denen die Schweißstromquelle in einen Zustand A mit einem Grundsweißstrom  $I_A$  geschaltet ist, mit Zeitspannen  $T_B$ , in denen die Schweißstromquelle in einen Zustand B mit einem (deutlich höheren) Impulssweißstrom  $I_B$  geschaltet ist, ab. Dieser Wechsel von Grundsweißstromphase A und Impulssweißstromphase B erfolgt beim Impulslichtbogenverfahren nicht frei, sondern zeitlich gesteuert durch die Schweißstromquelle, und zwar periodisch mit einer Frequenz  $f = 1/T = 1/(T_A + T_B)$ .

Im Vergleich dazu ist der **Fig. 1** ohne weiteres entnehmbar, daß die Schweißstromquelle zeitlich zwischen dem Zustand B und dem Zustand A jeweils in einen weiteren Zustand C (Nachpuls) geschaltet wird, in dem ein Schweißstrom  $I_C$  fließt, dessen Stärke zwischen der des Grundsweißstroms  $I_A$  und des Impulssweißstromes  $I_B$  liegt. Durch diesen Nachpuls C mit einer Zeitdauer  $T_C$  kann insbesondere beim Schweißen von Leichtmetall-Werkstoffen z. B. Magnesiumlegierungen, eine Schweißnaht hoher Festigkeit und guten Aussehens erreicht werden, und das bei zumindest weitgehender Spritzerfreiheit des ansonsten sehr problematisch zu verschweißenden Magnesium- oder Aluminiumwerkstoffes.

**Fig. 2** zeigt anhand eines Schweißstrom-Schweißspannung-Zeit-Diagramms (I-U-t-Diagramms) einen realen Impulslichtbogen-Schweißprozeß, der im wesentlichen dem in der schematischen Darstellung der **Fig. 1** gezeigten Schweißprozeß entspricht. Deutlich ist der dem Impulsstrom  $I_B$  nachgesetzte Nachpuls (Zustand C) mit einem

Schweißstrom  $I_C$  zu erkennen, dessen Stärke etwa mittig zwischen der Grundsweißstromstärke  $I_A$  im Zustand A und der Impulssweißstromstärke  $I_B$  in Zustand B gewählt ist. Bei dem realen Ausführungsbeispiel der **Fig. 2**, bei dem zwei 3,5 mm dicke Bleche aus der Magnesiumlegierung AZ 61 (MgAl6Zn1) miteinander verschweißt wurden, betrug die Zeitdauer  $T_C$  des Nachpuls-Zustands C etwa 3 ms, während die gesamte Zykluszeit  $T = T_A + T_B + T_C = 1/f$  eines Impulszyklus etwa bei 25 ms lag. Die Metallelektrode des MIG-Schweißverfahrens der **Fig. 2**, die gleichzeitig den Schweißzusatzwerkstoff lieferte, war als Drahtelektrode aus einer Magnesiumlegierung mit einem Durchmesser von etwa 1,6 mm ausgebildet. Die erreichte Schweißgeschwindigkeit betrug  $v_s = 0,9$  m/min, die Schweißdraht-Vorschubgeschwindigkeit  $v_D = 7,3$  m/min. Die Schweißstromquelle war mit einer elektronischen Schweißstromregelung ausgerüstet.

Selbstverständlich hängen die im einzelnen zu verwendenden optimalen Parameterwerte (Schweißstromstärken  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  und Zeitdauern der verschiedenen Zustände  $T_A$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ) von den zu verschweißenden Werkstücken und sonstigen Anforderungen an den Schweißprozeß ab.

**Fig. 4** zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen verbesserten Kurzlichtbogen-Schweißverfahrens anhand eines (vereinfachten) Schweißstrom-Schweißspannung-Zeit-Diagramms (I-U-t-Diagramms) in schematischer Darstellung. Es ist besonders instruktiv, die **Fig. 4** im Vergleich zur **Fig. 9** zu betrachten, die ein bekanntes Kurzschlußlichtbogen-Schweißverfahren nach dem Stand der Technik (gemäß "Handbuch der Schweißverfahren" von Robert Killing, Teil 1: Lichtbogenschweißverfahren, DVS Verlag Düsseldorf, 2. Auflage 1991) anhand eines (vereinfachten) Schweißstrom-Schweißspannung-Zeit-Diagramms (I-U-t-Diagramms) in schematischer Darstellung zeigt.

Der bekannte Kurzlichtbogen-Schweißprozeß der **Fig. 9** setzt sich im wesentlichen aus zwei Phasen zusammen: Der Kurzschlußphase  $I_K$ , in der der zwischen der Schweißzusatz-Metallelektrode und dem Schweißbad fließende Schweißstrom  $I$  im Kurzschluß schnell auf hohe Werte ansteigt, und der Lichtbogenphase L, in der zwischen der Metallelektrode und dem Schweißbad ein Lichtbogen brennt. Während der Kurzschlußphase K ist der Schweißstrom  $I_K$  zwischen Metallelektrode und Schweißschmelzbad sehr hoch, da aufgrund des auftretenden Kurzschlusses zwischen der an ihrem Ende angeschmolzenen Schweißzusatz-Metallelektrode und dem Schweißbad nur ein äußerst geringer Widerstand vorhanden ist. Diesem sehr hohen Kurzschluß-Schweißstrom  $I_K$  steht daher nur eine geringe Schweißspannung  $U_K$  gegenüber, die von der elektrischen Schweißstromquelle geliefert werden muß.

Umgekehrt ist während der Lichtbogenphase L der Schweißstrom  $I_L$  wesentlich geringer, und die dafür benötigte Schweißspannung  $U_L$  wesentlich höher. Das zeitliche Wechselspiel zwischen der Kurzschlußphase K, deren Zeitdauer in der **Fig. 9** mit  $T_3$  bezeichnet ist, und der Lichtbogenphase L, deren Zeitdauer in der **Fig. 9** mit  $T_{3L}$  bezeichnet ist, ergibt sich durch den Schweißprozeß selbst, und zwar durch den kontinuierlichen Vorschub der Schweißzusatz-Metallelektrode und das abwechselnd erfolgende Zünden eines Lichtbogens zwischen der abschmelzenden Metallelektrode und dem Löschen des Lichtbogens durch den Kurzschluß zwischen der an ihrem Ende angeschmolzenen Metallelektrode und dem Schmelzbad. Der Beginn des Auftretens des Kurzschlusses ist mit  $t_{23}$  bezeichnet, während das Aufreißen des Kurzschlusses durch Abschnüren des Tropfens und Zünden des Lichtbogens mit  $t_5$  bezeichnet ist. Die Zykluszeit  $Z$  des bekannten Kurzlichtbogen-Schweißprozesses der **Fig. 9** (d. h. die Zeitspanne zwischen zwei aufein-

anderfolgenden Kurzschlußphasen beginnen  $t_{23}$ ) entspricht daher der Summe der beiden Zeitspannen von Kurzschluß- und Lichtbogenphase (Zykluszeit  $Z = T_3 + T_{51}$ ).

Zum in Fig. 4 mit  $t_2$  bezeichneten Zeitpunkt tritt bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 4 zwischen der abschmelzenden Schweißzusatz-Metallelektrode und dem Schweißbad der Kurzschluß auf, wie an der zu diesem Zeitpunkt stark abfallenden Schweißspannung  $U$ , die zur Erzeugung des Schweißstroms  $I$  notwendig ist, erkennbar ist. Der minimale Schweißstrom  $I_1$  aus der vorhergehenden Lichtbogenphase steigt allerdings als Reaktion auf den Kurzschluß nicht sofort an, sondern er wird – durch entsprechende Regelung der elektrischen Schweißstromquelle, nämlich durch entsprechend geregelte Absenkung der angelegten Schweißspannung  $U$  – für einen gewissen Verzögerungszeitraum  $T_2$  weiter auf diesem Niveau der minimalen Schweißstromstärke  $I_1$  der Lichtbogenphase  $L$  gehalten. Die Schweißstromstärke  $I_1$  kann sich entweder selbsttätig aufgrund der im Schweißprozeß herrschenden Verhältnisse einstellen oder sie kann durch eine entsprechende Mindeststrom-Regelung der elektrischen Schweißstromquelle vom Bediener gewählt werden.

Nach Ablauf der eingestellten Verzögerungs-Zeitdauer  $T_2$ , also zum Zeitpunkt  $t_3$ , steigt der Schweißstrom  $I_K$  in der Kurzschlußphase  $K$  – verursacht durch den aufgetretenen Kurzschluß zwischen abschmelzender Schweißzusatz-Metallelektrode und Schweißbad – stark an. Dieser Anstieg kann entweder wiederum frei erfolgen, wobei je nach den beim Schweißprozeß herrschenden Verhältnissen die maximale Anstiegsgeschwindigkeit allein durch die Induktivität der eingesetzten elektrischen Schweißstromquelle gegeben sein kann. Im Ausführungsbeispiel der Fig. 4 wird allerdings die elektrische Schweißstromquelle derart gesteuert, daß sich ein linearer Anstieg des Kurzschlußstroms  $I_K$  mit einer vorgegebenen Stromanstiegsrate  $R_1$  ergibt. Der Anstieg erfolgt bis zu einem maximalen Stromstärkewert  $I_3$  in der Kurzschlußphase  $K$ , der in dem Ausführungsbeispiel der Fig. 4 durch einen vorgegebenen Stromstärkewert  $I_{K,max}$  der elektrischen Schweißstromquelle begrenzt ist. (Für den Fall, daß der Kurzschluß vor Erreichen des Maximal-Grenzwertes  $I_{K,max}$  aufbricht, wird dieser Wert nicht erreicht, und  $I_3$  bleibt unter dem Wert  $I_{K,max}$ .) Durch die rasche Erhöhung des Kurzschlußstroms  $I_K$  in der Kurzschlußphase  $K$  wird ein zu starkes Abkühlen des Drahtelektrodenendes und damit ein "Festkleben" des dort gebildeten Schmelztropfens im Schmelzbad verhindert. Zusätzlich wird der Schmelztropfen eingeschnürt und die Ablösung des Tropfens von der Schweißzusatz-Metallelektrode unterstützt.

Zum Zeitpunkt  $t_5$  der Fig. 4 bricht der Kurzschluß zwischen Schweißzusatz-Metallelektrode und Schmelzbad auf. Der Schweißstrom  $I$  sinkt in dem Ausführungsbeispiel der Fig. 4 mit maximaler Geschwindigkeit, die allein von der Induktivität des Schweißstromkreises abhängt, auf einen durch entsprechende Einstellung der Schweißstromquelle vorgegebenen Wert  $I_4$  ab. Die Zeitdauer  $T_5$  und die Stromabsinkrate sind mithin bei diesem Ausführungsbeispiel der Fig. 4 nicht vorgegeben; es könnte aber selbstverständlich auch hier eine vorgegebene Stromabsinkrate – z. B. ein linearer Abfall mit einer Stromabsinkrate  $R_2$  – vorgesehen sein.

Es sei betont, daß – im Gegensatz zum Impulslichtbogen-Schweißverfahren der Fig. 1 und 2 – der Zeitpunkt  $t_5$  und damit die Zeitspanne  $T_4$  bzw. die Zeitspanne  $T_3 + T_4$  nicht von der Steuerung der elektrischen Schweißstromquelle vorgegeben wird, sondern daß das Aufbrechen des Kurzschlusses allein durch den Schweißprozeß selbst gesteuert wird.

Nach dem Absinken auf den vorgegebenen Wert  $I_4$  steigt

der Schweißstrom  $I$  in der Nachpulsphase  $N$  wieder an, und zwar in dem Ausführungsbeispiel der Fig. 4 mit einer vorgegebenen Stromanstiegsrate  $R_3$  bis auf einen durch entsprechende Einstellung der Schweißstromquelle vorgegebenen Maximalgrenzwert  $I_{N,max}$ . Dadurch wird das Drahtelektrodenende der Schweißzusatz-Metallelektrode stark angeschmolzen. In dem Ausführungsbeispiel der Fig. 4 sind Schweißprozeß und Einstellung der elektrischen Schweißstromquelle so ausgelegt, daß beim Anstieg des Schweißstroms  $I_N$  in der Nachpulsphase  $N$  der vorgegebene maximale Grenzwert  $I_{N,max}$  regelmäßig erreicht wird. Die Zeitspanne  $T_6$  für den Stromanstieg mit der Stromanstiegsrate  $R_3$  sowie die Zeitspanne  $T_7$ , in der der Schweißstrom  $I$  auf seinem erreichten Nachpulsphasen-Maximalwert  $I_5$  (= Stromstärkewert  $I_{N,max}$ ) verbleibt, sowie der Wert des erreichten Nachpulsphasen-Maximalwertes  $I_5$  bestimmen im wesentlichen die in der Nachpulsphase  $N$  in den Schweißprozeß eingebrachte elektrische Leistung. Eine Schweißprozeß-Steuerung wie in Fig. 4, bei der durch eine vorgegebene Stromanstiegsrate  $R_3$  und einen regelmäßig erreichten Nachpulsphasen-Stromstärke-Grenzwert  $I_{N,max}$  sowie durch eine vorgegebene Summe der Zeitspanne  $T_6 + T_7$  die im Nachpuls  $N$  eingebrachte elektrische Leistung weitgehend reproduzierbar konstant gehalten wird, begünstigt ein reproduzierbares Anschmelzen des Drahtelektrodenendes und damit einen weitgehend reproduzierten und gleichbleibenden Ablauf des gesamten Prozeßzyklus  $Z$  des Kurzlichtbogen-Schweißverfahrens.

Nach Ablauf der festgelegten Summe der Zeitspannen  $T_6 + T_7$  sinkt die Schweißstromstärke  $I$  ab dem Zeitpunkt  $t_8$  mit einer vorgegebenen Stromabsinkrate  $R_4$  wieder ab, und der Kurzlichtbogen-Schweißprozeß tritt in die Lichtbogenphase  $L$  ein. Zum Zeitpunkt  $t_1$  erreicht die Schweißstromstärke  $I$  wiederum den minimalen Lichtbogenphasen-Stromstärkewert  $I_1$ . Dieser Wert  $I_1$  der Lichtbogenphasen-Stromstärke  $I_L$  bildet sich im Ausführungsbeispiel der Fig. 4 frei aufgrund der vorliegenden Schweißverhältnisse, da er oberhalb eines der in der Schweißanlagen-Steuerung vorgegebenen Lichtbogenphasen-Stromstärkemindestwertes  $I_{L,min}$  liegt. Vom Zeitpunkt  $t_1$  bis zum Auftreten des nächsten Kurzschlusses zum Zeitpunkt  $t_2$  brennt der Lichtbogen, wie aus der Fig. 4 hervorgeht, nunmehr frei mit dem Stromstärkewert  $I_1$ . Am Drahtelektrodenende hängt der im wesentlichen durch den vorhergehenden Strom-Nachpuls  $N$  während der Zeitspannen  $T_6$  und  $T_7$  angeschmolzene Tropfen. Der Abstand des Schweißzusatz-Drahtelektrodenendes zum Schmelzbad wird durch den kontinuierlichen Vorschub der Metallelektrode laufend kleiner, die Lichtbogen-Schweißspannung  $U_L$  sinkt. Dieser Zustand hält für eine Zeitdauer  $T_1$  an, bis die Metallelektrode mit dem geschmolzenen Tropfen zum Zeitpunkt  $t_2$  das Schmelzbad berührt und durch die Oberflächenspannung in das Schmelzbad gezogen wird. Zu diesem Zeitpunkt  $t_2$  beginnt der geschilderte Zyklus von neuem. Es wird nochmals betont, daß – im Gegensatz zum zuvor geschilderten Impulslichtbogen-Schweißverfahren der Fig. 1 und 2 – die Zeitdauer  $T_1$  der Lichtbogenphase  $L$  durch die vorliegenden Verhältnisse des Schweißprozesses bestimmt wird und nicht durch eine gesteuerte Umschaltung der Schweißstromquelle.

Eine Änderung der vorgegebenen bzw. vorgebbaren Parameter  $I_1$  bzw.  $I_{L,min}$ ,  $I_4$ ,  $I_5$  bzw.  $I_{N,max}$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  und  $T_6$  bzw.  $T_7$  bzw.  $T_6 + T_7$  beeinflusst, wie Versuche der Anmelderin gezeigt haben, vor allem die Größe des angeschmolzenen Tropfens an der Metalldraht-Elektrode und damit die Zykluszeit  $Z$  für den gesamten ablaufenden Zyklus zwischen einem Kurzschluß-Zeitpunkt  $t_2$  und dem darauffolgenden nächsten Kurzschlußzeitpunkt  $t_2$ . Durch eine Änderung der Parameter  $T_2$  und  $R_1$  kann im wesentlichen die Dauer der



Kurzschlußphase K und das Auftreten von Schweißspritzern optimiert werden.

Fig. 5 zeigt anhand einer schematischen Darstellung eines Schweißstrom-Schweißspannung-Zeit-Diagramms ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Kurzlichtbogen-Schweißverfahrens gemäß Anspruch 16. Es wird im folgenden lediglich auf die Unterschiede zu dem Ausführungsbeispiel der Fig. 4 eingegangen. Der Kurzschluß tritt bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 5 zu einem Zeitpunkt  $t_{23}$  auf. Auf die Einführung eines Verzögerungszeitraums (Zeitdelays)  $T_2$  wurde bei diesem Ausführungsbeispiel der Fig. 5 verzichtet, vielmehr beginnt sofort der Kurzschlußphasen-Schweißstrom  $I_K$  mit einer vorgegebenen Stromanstiegsrate  $R_1$  anzusteigen. Der aus Anlagenschutzgründen vorgegebene Maximalgrenzwert  $I_{K,max}$  für den Kurzschlußphasen-Strom  $I_K$  wird bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 5 regelmäßig nicht erreicht, so daß kein Zeitraum  $T_4$  mit einem Plateau-Kurzschlußstrom  $I_{K,max}$  wie bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 4 auftritt. Vielmehr fällt beim Aufbrechen des Kurzschlusses zum Zeitpunkt  $t_5$  die Stromstärke  $I$  von ihrem erreichten Kurzschlußphasen-Maximalwert  $I_3$  mit einer vorgegebenen Stromabsinkrate  $R_2$  wieder ab, bis sie zum Zeitpunkt  $t_6$  einen vorgegebenen Grenzwert  $I_4$  erreicht. Danach steigt der Schweißstrom  $I_N$  in der Nachpulsphase N wieder – von der Schweißstromquelle gesteuert – mit einer vorgegebenen Stromanstiegsrate  $R_3$  an, bis der Nachpulsphasen-Strom  $I_N$  zum Zeitpunkt  $t_7$  einen vorgegebenen Nachpulsphasen-Maximalgrenzwert  $I_{N,max}$  erreicht, um dort für einen Zeitraum  $T_7$  zu verbleiben. Die Zeitdauer  $T_6$  des Wiederanstiegs ist durch den vorgegebenen Grenzwert  $I_4$ , den vorgegebenen Maximalwert  $I_{N,max}$  und die vorgegebene Stromanstiegsrate  $R_3$  im Regelfall ebenfalls vorgegeben. Durch die vorgegebene Zeitdauer des Zustand  $T_7$ , in der der Nachpulsphasen-Strom  $I_N$  auf seinen Maximalgrenzwert  $I_{N,max}$  verbleibt, wird somit die gesamte im Nachpuls N in das Aufschmelzen des Drahtelektrodenendes eingebrachte elektrische Leistung genau definiert. Nach Ablauf der vorgegebenen Zeitspanne  $T_7$  sinkt der Schweißstrom  $I$  ab dem Zeitpunkt  $t_8$  ab, wobei dieser Abfall einer vorgegebenen Exponentialfunktion mit einem vorgegebenen Exponential-Koeffizienten  $-a$  folgt. Auf diesen Fall wird erreicht, daß der Schweißstrom  $I$  am Ende der Nachpulsphase N relativ rasch auf seinen Lichtbogenphasen-Wert  $I_L$  absinkt, so daß auf jeden Fall sichergestellt ist, daß dann, wenn zum Zeitpunkt  $t_{23}$  der nächste Kurzschluß zwischen dem am Drahtelektrodenende hängenden Schmelztropfen und dem Schmelzbad auftritt, nur noch eine geringe Schweißstromstärke  $I_1$  fließt und so Schweißspritzer sicher verringert bzw. vermieden werden.

Fig. 6 zeigt ein schematisches Schweißstrom-Schweißspannungs-Zeit-Diagramm (I-U-t-Diagramm) als drittes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Kurzlichtbogen-Schweißverfahrens. Auch hier wird nur auf die Unterschiede bzgl. der Fig. 4 und 5 eingegangen.

Auch bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 6 wird auf einen Verzögerungszeitraum  $T_2$  zwischen Auftreten des Kurzschlusses und Anstieg des Kurzschlußstroms verzichtet. Der Stromanstieg des Kurzschlußstroms  $I_K$  in der Schlußphase K erfolgt wiederum mit einer vorgegebenen linearen Anstiegsrate  $R_1$  bis zu einem vorgegebenen Maximalgrenzwert  $I_{K,max}$ . Der anschließende Abfall bis auf den vorgegebenen Wert  $I_4$ , der kleiner ist als der erreichte maximale Stromstärkenwert  $I_3 = I_{K,max}$  in der Kurzschlußphase K aber größer als der minimale Stromstärkewert  $I_1$  in der Lichtbogenphase L, erfolgt frei, lediglich beschränkt durch die Induktivität des Schweißstromkreises. Sobald dieser Wert  $I_4$  erreicht wird, wird er von der elektrischen Schweißstromquelle gesteuert für einen Zeitraum  $T_{67}$  konstant auf dem Wert  $I_4 = I_N$  gehalten.

ten. Zum Zeitpunkt  $t_8$  am Ende dieser Zeitspanne  $T_{67}$  fällt der Schweißstrom  $I$  am Ende der Nachpulsphase N exponentiell mit einem vorgegebenen Exponential-Koeffizienten  $-a$  ab bis auf einen minimalen Lichtbogenphasen-Wert  $I_L$ , der bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 6 aber regelmäßig über dem für die elektrische Schweißstromanlagen-Steuerung eingestellten Mindeststromgrenzwert von  $I_{L,min}$  liegt.

Fig. 7 zeigt ein Schweißstrom-Schweißspannungs-Zeit-Diagramm (I-U-t-Diagramm) eines realen Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Kurzlichtbogen-Prozesses, der sowohl Merkmale des Ausführungsbeispiels der Fig. 5 als auch Merkmale des Ausführungsbeispiels der Fig. 6 besitzt. Ein Verzögerungszeitraum  $T_2$  zwischen Auftreten des Kurzschlusses und Stromanstieg in der Kurzschlußphase K ist nicht eingestellt. Der Anstieg des Schweißstroms  $I_K$  in der Kurzschlußphase K erfolgt etwa linear mit einer vorgegebenen Stromanstiegsrate  $R_1$ . Der vorgebbare Maximalgrenzwert  $I_{K,max}$  wird üblicherweise nicht erreicht. Nach Aufbrechen des Kurzschlusses fällt der Schweißstrom  $I$  vielmehr von seinem erreichten Maximalwert  $I_3$  bis auf einen vorgegebenen Grenzwert  $I_4$  ab, um anschließend für einen gewissen Zeitraum zumindest im wesentlichen etwa konstant zu bleiben. Am Ende dieses Zeitraums fällt die Stromstärke zum Zeitpunkt  $t_8$  sehr rasch – lediglich begrenzt durch die Induktivität des Schweißstromkreises – ab, und zwar bis auf einen weiteren vorgegebenen Grenzwert  $I_7$ . Von diesem vorgegebenen Stromstärkewert  $I_7$  fällt die Stromstärke weiter mit einer vorgegebenen linearen Stromabfallsrampe  $R_5$  weiter ab, bis zum Zeitpunkt  $t_{23}$  der nächste Kurzschluß zündet.

Fig. 8 zeigt ein fünftes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Kurzlichtbogen-Schweißverfahrens gemäß Anspruch 16. Dieses Ausführungsbeispiel arbeitet im Vergleich zu den anderen Ausführungsbeispielen der Fig. 4 bis 7 mit nur relativ geringen Modifikationen an dem bekannten Prozeß gemäß Fig. 9. (Im Vergleich dazu zeigt insbesondere das erste Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Kurzschluß-Lichtbogen-Schweißverfahrens der Fig. 4 eine deutlich komplexere Zeitstruktur.) Wie ersichtlich, wird auch bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 8 auf einen Verzögerungszeitraum  $T_2$  verzichtet. Der Anstieg des Schweißstroms  $I_K$  in der Kurzschlußphase K erfolgt frei und ungeregelt, bis der Kurzschluß aufgrund der beim Schweißprozeß vorliegenden Verhältnisse zum Zeitpunkt  $t_5$  wieder aufreißt. Der Schweißstrom  $I$  hat dabei seinen größten Wert  $I_3$  erreicht.

Der Abfall des Schweißstroms  $I$  nach Aufbrechen des Kurzschlusses erfolgt frei bis auf einen vorgegebenen Wert  $I_4$ , an dem die Regelung der elektrischen Schweißstromquelle steuernd eingreift und den Schweißstrom  $I_N$  anschließend für einen gewissen, vorgegebenen Zeitraum  $T_{67}$  steuernd – nämlich durch entsprechendes Anheben der Schweißspannung  $U$  – auf einem Nachpulsphasen-Wert  $I_N = I_4$  konstant hält. Nach Ablauf der vorgegebenen Zeitspanne  $T_{67}$  wird die Schweißstromstärke  $I$  von der gesteuerten elektrischen Schweißstromquelle wieder freigegeben, und ab diesem Zeitpunkt  $t_8$  fällt der Schweißstrom  $I_L$  wieder in Richtung auf seinen minimalen Lichtbogenphasen-Wert von  $I_1$  ab, bis zum Zeitpunkt  $t_{23}$  der nächste Kurzschluß auftritt.

Die bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 7 verschweißten Bleche waren Magnesiumbleche mit einer Dicke von 2,5 mm aus der Magnesiumlegierung AZ 61(MgAl6Zn1). Der Durchmesser des Magnesiumlegierungs-Schweißdrahts betrug 2,4 mm. Ein wesentliches Merkmal dieses Ausführungsbeispiels ist die erzielte gleichmäßige und lange Zykluszeit  $Z$  von circa 4 ms und daher niedrige Zyklusfrequenz  $f$ , und damit verbunden ein relativ grobtropfiger Werkstoffübergang. Das Ergebnis war eine (im Vergleich zu konven-

tionellen Kurzschlußlichtbogen-Schweißnähten) flache Schweißnaht in guter Qualität und gutem Einbrand.

Es ist aus dem gesagten deutlich geworden, daß die erfindungsgemäßen Schweißverfahren in vielen Ausführungsformen und Modifikationen auftreten können, die alle von der Erfindung erfaßt sind. Essentiell ist, daß – sowohl für das erfindungsgemäße verbesserte Impulslichtbogenverfahren gemäß Anspruch 1 als auch für das erfindungsgemäße verbesserte Kurzlichtbogenverfahren gemäß Anspruch 18 dem Zustand hoher Schweißstromstärke  $I_B$  bzw.  $I_K$  jeweils mindestens ein weiterer Nachpuls-Zustand geringerer Schweißstromstärke  $I_C$  bzw.  $I_N$  gesteuert nachgesetzt wird.

Die Erfindung ist in den Ausführungsbeispielen anhand einer mit einer Stromregelung versehenen elektrischen Schweißstromquelle dargestellt worden, bei der der Schweißstrom  $I$  die Führungsgröße dargestellt. Zur Bestimmung des momentanen Schweißprozeßzustandes wurde die Schweißspannung  $U$  verwendet. Der Schweißstrom  $I$  wird als Reaktion auf den Schweißprozeßzustand durch eine spezielle Steuerung/Regelung entsprechend eingestellt. Es ist selbstverständlich möglich, die erfindungsgemäßen Schweißverfahren auch mit spannungsgeregelten oder leistungsgeregelten Schweißanlagen-Steuerungen durchzuführen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Metall-Schutzgas-Lichtbogen-Schweißen (MIG-/MAG-Schweißen) von zwei oder mehreren Fügepartnern mittels einer elektrischen Schweißstromquelle, wobei die Schweißstromquelle zumindest im wesentlichen periodisch mit einer Frequenz  $f = 1/T$  zumindest zwischen einem Zustand A, in dem ein Grundsweißstrom  $I_A$  fließt, und einem weiteren Zustand B, in dem ein Impulsschweißstrom  $I_B$  fließt dessen Stärke die Stärke des Grundsweißstroms  $I_A$  übersteigt, umgeschaltet wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schweißstromquelle zeitlich zwischen dem Zustand B und dem Zustand A jeweils in einen weiteren Zustand C geschaltet wird, in dem ein Schweißstrom  $I_C$  fließt, dessen Stärke geringer als die des Impulsschweißstroms  $I_B$  im Zustand B, aber größer als die des Grundsweißstroms  $I_A$  im Zustand A ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Schweißstromquelle mittels einer elektrischen Stromregelung geregelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitdauer  $T_C$  des Zustands C mindestens einem Zehntel, aber höchstens dem Zehnfachen der Zeitdauer  $T_A$  des Zustandes A entspricht.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitdauer  $T_C$  des Zustands C mindestens einem Viertel, aber höchstens dem Vierfachen der Zeitdauer  $T_A$  des Zustandes A entspricht.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitdauer  $T_C$  des Zustands C etwa gleich der Zeitdauer  $T_A$  des Zustands A ist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitdauer  $T_C$  des Zustands C mindestens 0,1 Millisekunden und höchstens 100 Millisekunden beträgt.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitdauer  $T_C$  des Zustands C mindestens 0,5 Millisekunden und höchstens 50 Millisekunden beträgt.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitdauer  $T_C$  des Zustands C mindestens 1 Millisekunden und höchstens 10 Millisekunden be-

trägt.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitdauer  $T_C$  des Zustands C etwa 2 bis 3 Millisekunden beträgt.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schweißstromstärke  $I_C$  im Zustand C die Grundsweißstromstärke  $I_A$  im Zustand A um mindestens 25%, aber höchstens 75% der Differenz zwischen der Impulsschweißstromstärke  $I_B$  im Zustand B und der Grundsweißstromstärke  $I_A$  im Zustand A übersteigt.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Schweißstromstärke  $I_C$  im Zustand C etwa hälftig zwischen der Impulsschweißstromstärke  $I_B$  im Zustand B und der Grundsweißstromstärke  $I_A$  im Zustand A liegt.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schweißstromquelle neben den Zuständen A, B und C während des Schweißens in keine weiteren Zustände umgeschaltet wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß einer oder mehrere der Fügepartner aus Leichtmetallen oder Leichtmetalllegierung(en) bestehen.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß einer oder mehrere der Fügepartner aus Aluminium oder Aluminiumlegierung(en) bestehen.

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß einer oder mehrere der Fügepartner aus Magnesium oder Magnesiumlegierung(en) bestehen.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schweißelektrode als Schweißdraht ausgebildet ist, der gleichzeitig einen Schweißzusatzstoff darstellt.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Schweißdraht mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit zugeführt wird.

18. Verfahren zum Metall-Schutzgas-Lichtbogen-Schweißen (MIG-/MAG-Schweißen) von zwei oder mehreren Fügepartnern mittels einer elektrischen Schweißstromquelle, wobei sich ohne wesentliche zeitliche Steuerung durch die Schweißstromquelle alternierend ein Lichtbogen zwischen einer Metall-Schweißelektrode und den Fügepartnern ausbildet (Lichtbogenphase L) und ein Kurzschluß zwischen der Metall-Schweißelektrode und den Fügepartnern auftritt und den Lichtbogen wieder löscht (Kurzschlußphase K), dadurch gekennzeichnet, daß am Ende der Kurzschlußphase K bzw. zu Beginn der Lichtbogenphase L die Schweißstromquelle gesteuert in einen Zustand N (Nachpulsphase) geschaltet wird, in dem ein Schweißstrom fließt, dessen Stromstärke  $I_N$  kleiner als die maximale Stromstärke  $I_3$  in der Kurzschlußphase K und größer als die minimale Stromstärke  $I_1$  in der Lichtbogenphase L ist.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Schweißstromquelle mittels einer elektrischen Stromregelung geregelt wird.

20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß am Ende der Kurzschlußphase K die Stromstärke  $I$  des Schweißstroms zunächst auf einen Wert  $I_4$  abfällt, der kleiner als die maximale Stromstärke  $I_3$  in der Kurzschlußphase K und größer oder gleich der minimalen Stromstärke  $I_1$  in der Lichtbogenphase L ist.

21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet,



zeichnet, daß die Stromstärke anschließend wieder ansteigt.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Anstieg linear erfolgt.

23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Anstieg gesteuert mit einer vorgegebenen Stromanstiegsrate  $R_3$  erfolgt.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitdauer des Anstiegs gesteuert eine gewisse Zeitspanne  $T_6$  beträgt.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß der Anstieg durch einen gesteuert vorgebbaren Stromstärkegrenzwert  $I_{N,max}$  begrenzt ist, der kleiner oder gleich der maximalen Stromstärke  $I_3$  in der Kurzschlußphase K und größer als die minimale Stromstärke  $I_1$  in der Lichtbogenphase L ist.

26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß der gesteuert vorgebbare Stromstärkegrenzwert  $I_{N,max}$  kleiner als die maximale Stromstärke  $I_3$  in der Kurzschlußphase K ist.

27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß der gesteuert vorgebbare Stromstärkegrenzwert  $I_{N,max}$  zwischen 70 und 95% des Wertes der maximalen Stromstärke  $I_3$  in der Kurzschlußphase K beträgt.

28. Verfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß der gesteuert vorgebbare Stromstärkegrenzwert  $I_{N,max}$  zwischen 80 und 90% des Wertes der maximalen Stromstärke  $I_3$  in der Kurzschlußphase K beträgt.

29. Verfahren nach einem der Ansprüche 25 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromstärke  $I$  bis auf den vorgegebenen Stromstärkegrenzwert  $I_{N,max}$  ansteigt und anschließend gesteuert für einen gewissen Zeitraum  $T_7$  auf diesem Wert  $I_{N,max}$  verbleibt.

30. Vorrichtung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer des Zeitraums  $T_7$  zwischen 5% und 60% der mittleren Zeitspanne zwischen zwei Kurzschlußphasenbeginnen (Zykluszeit  $Z$ ) beträgt.

31. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer des Zeitraums  $T_7$  zwischen 10% und 50% der mittleren Zeitspanne zwischen zwei Kurzschlußphasenbeginnen (Zykluszeit  $Z$ ) beträgt.

32. Verfahren nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer des Zeitraums  $T_7$  zwischen 20% und 40% der mittleren Zeitspanne zwischen zwei Kurzschlußphasenbeginnen (Zykluszeit  $Z$ ) beträgt.

33. Verfahren nach einem der Ansprüche 29 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer des Zeitraums  $T_7$  zwischen 2 ms und 50 ms beträgt.

34. Verfahren nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer des Zeitraums  $T_7$  zwischen 5 ms und 20 ms liegt.

35. Verfahren nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer des Zeitraums  $T_7$  etwa 10 ms beträgt.

36. Verfahren nach einem der Ansprüche 29 bis 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitdauer des Anstiegs und des Verbleibens auf dem vorgegebenen Stromstärkegrenzwert  $I_{N,max}$  zusammengenommen gesteuert eine gewisse Zeitspanne ( $T_6+T_7$ ) beträgt.

37. Verfahren nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer der gewissen Zeitspanne ( $T_6+T_7$ ) etwa 5% bis 60% der mittleren Zeitspanne zwischen zwei Kurzschlußphasenbeginnen (Zykluszeit  $Z$ ) beträgt.

38. Verfahren nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, daß die Dauer der gewissen Zeitspanne ( $T_6+T_7$ ) etwa 10% bis 50% der mittleren Zeitspanne zwischen zwei Kurzschlußphasenbeginnen (Zykluszeit  $Z$ ) beträgt.

39. Verfahren nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer der gewissen Zeitspanne ( $T_6+T_7$ ) etwa 20% bis 40% der mittleren Zeitspanne zwischen zwei Kurzschlußphasenbeginnen (Zykluszeit  $Z$ ) beträgt.

40. Verfahren nach einem der Ansprüche 36 bis 39, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer der gewissen Zeitspanne ( $T_6+T_7$ ) zusammengenommen zwischen 5 ms und 50 ms beträgt.

41. Verfahren nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer der gewissen Zeitspanne ( $T_6+T_7$ ) zusammengenommen zwischen 5 ms und 20 ms beträgt.

42. Verfahren nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer der gewissen Zeitspanne ( $T_6+T_7$ ) etwa 10 ms beträgt.

43. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromstärke  $I$  gesteuert für einen gewissen Zeitraum  $T_{67}$  auf diesem Wert  $I_4$  verbleibt, wobei der Stromstärkewert  $I_4$  kleiner als die maximale Stromstärke  $I_3$  in der Kurzschlußphase K und größer als die minimale Stromstärke  $I_1$  in der Lichtbogenphase L ist.

44. Verfahren nach Anspruch 43, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer des Zeitraums  $T_{67}$  zwischen 5% und 60% der mittleren Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden Kurzschlußphasenbeginnen (Zykluszeit  $Z$ ) liegt.

45. Verfahren nach Anspruch 44, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer des Zeitraums  $T_{67}$  zwischen 10% und 50% der mittleren Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden Kurzschlußphasenbeginnen (Zykluszeit  $Z$ ) liegt.

46. Verfahren nach Anspruch 45, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer des Zeitraums  $T_{67}$  zwischen 20% und 40% der mittleren Zeitspanne zwischen zwei aufeinanderfolgenden Kurzschlußphasenbeginnen (Zykluszeit  $Z$ ) liegt.

47. Verfahren nach einem der Ansprüche 43 bis 46, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer des gewissen Zeitraums  $T_{67}$  zwischen 2 ms und 50 ms beträgt.

48. Verfahren nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer des gewissen Zeitraums  $T_{67}$  zwischen 5 ms und 20 ms beträgt.

49. Verfahren nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß die Dauer des gewissen Zeitraums  $T_{67}$  etwa 10 ms beträgt.

50. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 49, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromstärke  $I$  am Ende der Nachpulsphase N in Richtung auf die minimale Stromstärke  $I_1$  in der Lichtbogenphase L abfällt.

51. Verfahren nach Anspruch 50, dadurch gekennzeichnet, daß der Abfall linear erfolgt.

52. Verfahren nach Anspruch 51, dadurch gekennzeichnet, daß der Abfall mit einer vorgegebenen Stromabfallrate  $R_4$  erfolgt.

53. Verfahren nach Anspruch 50, dadurch gekennzeichnet, daß der Abfall exponentiell erfolgt.

54. Verfahren nach Anspruch 53, dadurch gekennzeichnet, daß der Abfall gesteuert mit einem vorgegebenen Exponenten ( $-a$ ) der Exponentialfunktion erfolgt.

55. Verfahren nach einem der Ansprüche 50 bis 54, dadurch gekennzeichnet, daß der Abfall bis auf einen

sich frei einstellenden Lichtbogenphasen-Stromstärke-wert  $I_L$  erfolgt.

56. Verfahren nach einem der Ansprüche 50 bis 54, dadurch gekennzeichnet, daß der Abfall bis auf einen vorgegebenen Stromstärkeminimalwert  $I_{L,min}$  erfolgt. 5

57. Verfahren nach Anspruch 56, dadurch gekennzeichnet, daß der Stromstärkeminimalwert  $I_{L,min}$  zwischen 1% und 30% der mittleren maximalen Stromstärke  $I_3$  in der Kurzschlußphase K beträgt.

58. Verfahren nach Anspruch 57, dadurch gekennzeichnet, daß der Stromstärkegrenzwert  $I_{L,min}$  zwischen 2% und 20% der mittleren maximalen Stromstärke  $I_3$  in der Kurzschlußphase K beträgt. 10

59. Verfahren nach Anspruch 58, dadurch gekennzeichnet, daß der Stromstärkegrenzwert  $I_{L,min}$  zwischen 2% und 10% der mittleren maximalen Stromstärke  $I_3$  in der Kurzschlußphase K beträgt. 15

60. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 59, dadurch gekennzeichnet, daß zu Beginn der Kurzschlußphase K die Stromstärke I nicht frei ansteigt, sondern gesteuert erst nach einem gewissen Verzögerungszeitraum  $T_2$  ansteigt. 20

61. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 60, dadurch gekennzeichnet, daß der Stromanstieg in der Kurzschlußphase K nicht frei erfolgt, sondern in einer vorgegebenen Anstiegskurve gesteuert erfolgt. 25

62. Verfahren nach Anspruch 61, dadurch gekennzeichnet, daß der Stromanstieg einer vorgegebenen linearen Anstiegsrampe mit einer Stromanstiegsrate  $R_1$  folgt. 30

63. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 62, dadurch gekennzeichnet, daß der Stromanstieg in der Kurzschlußphase K durch einen vorgegebenen Maximalwert  $I_{K,max}$  begrenzt ist.

64. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 63, dadurch gekennzeichnet, daß die Schweißelektrode als Schweißdraht ausgebildet ist, der gleichzeitig einen Schweißzusatzstoff darstellt. 35

65. Verfahren nach Anspruch 64, dadurch gekennzeichnet, daß der Schweißdraht mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit zugeführt wird. 40

66. Verfahren nach einem der Ansprüche 18 bis 65, dadurch gekennzeichnet, daß einer oder mehrere der Fügepartner aus Leichtmetallen oder Leichtmetalllegierung(en) bestehen. 45

67. Verfahren nach Anspruch 66, dadurch gekennzeichnet, daß einer oder mehrere der Fügepartner aus Aluminium oder Aluminiumlegierung(en) bestehen.

68. Verfahren nach Anspruch 66 oder 67, dadurch gekennzeichnet, daß einer oder mehrere der Fügepartner aus Magnesium oder Magnesiumlegierung(en) bestehen. 50

---

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

---

55

60

65



- Leerseite -

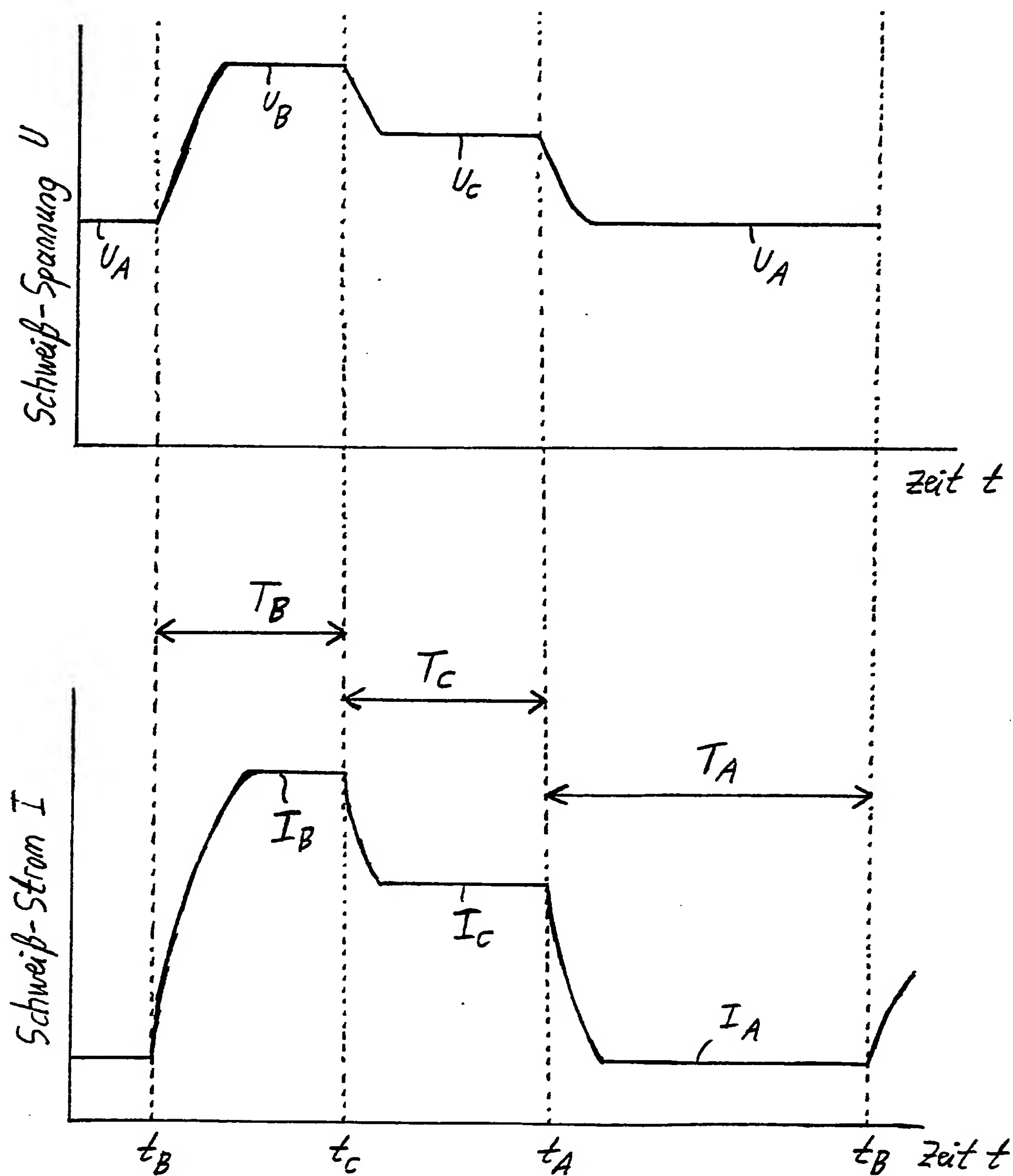


Fig. 1



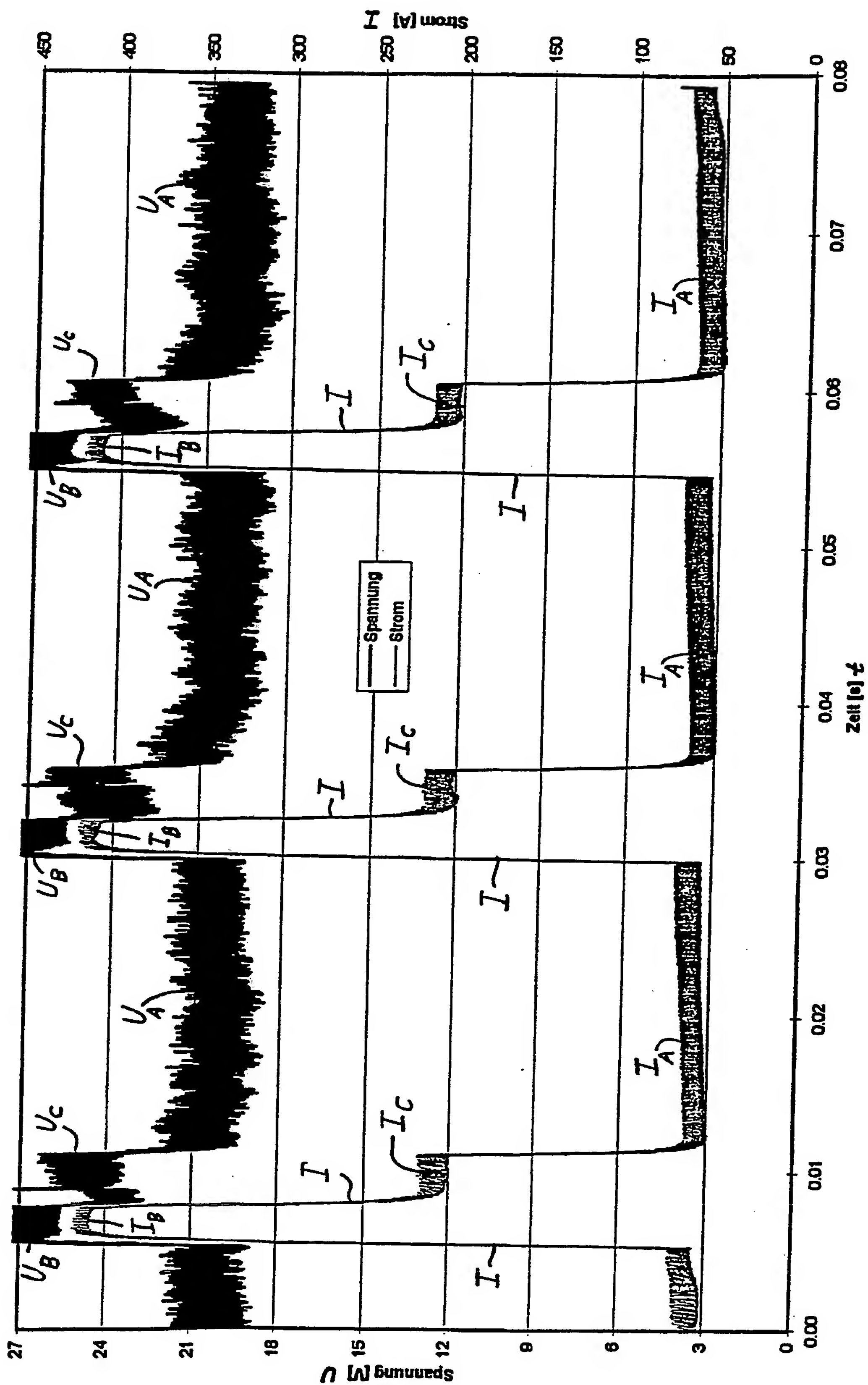


Fig. 2

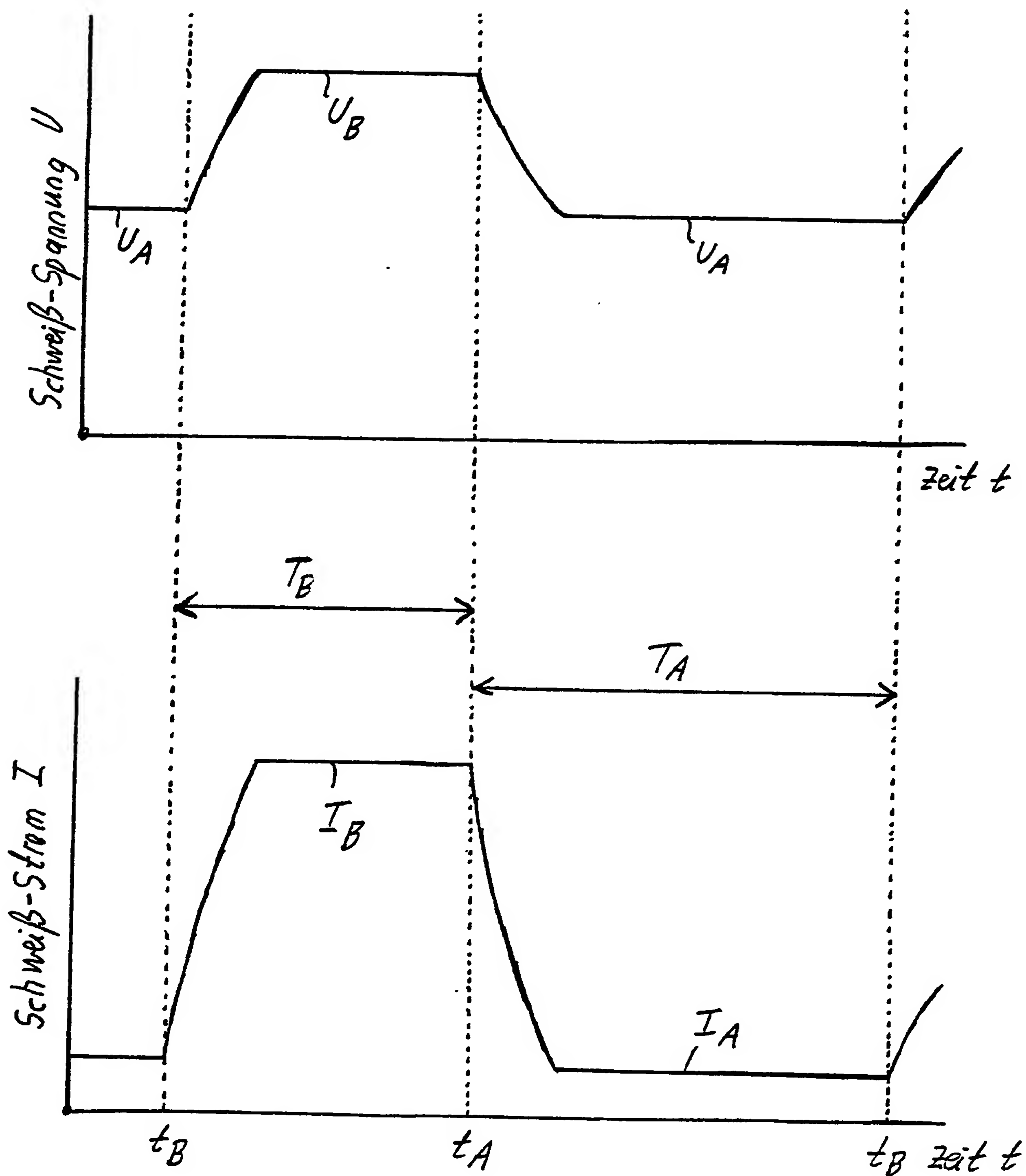


Fig. 3 - Stand der Technik



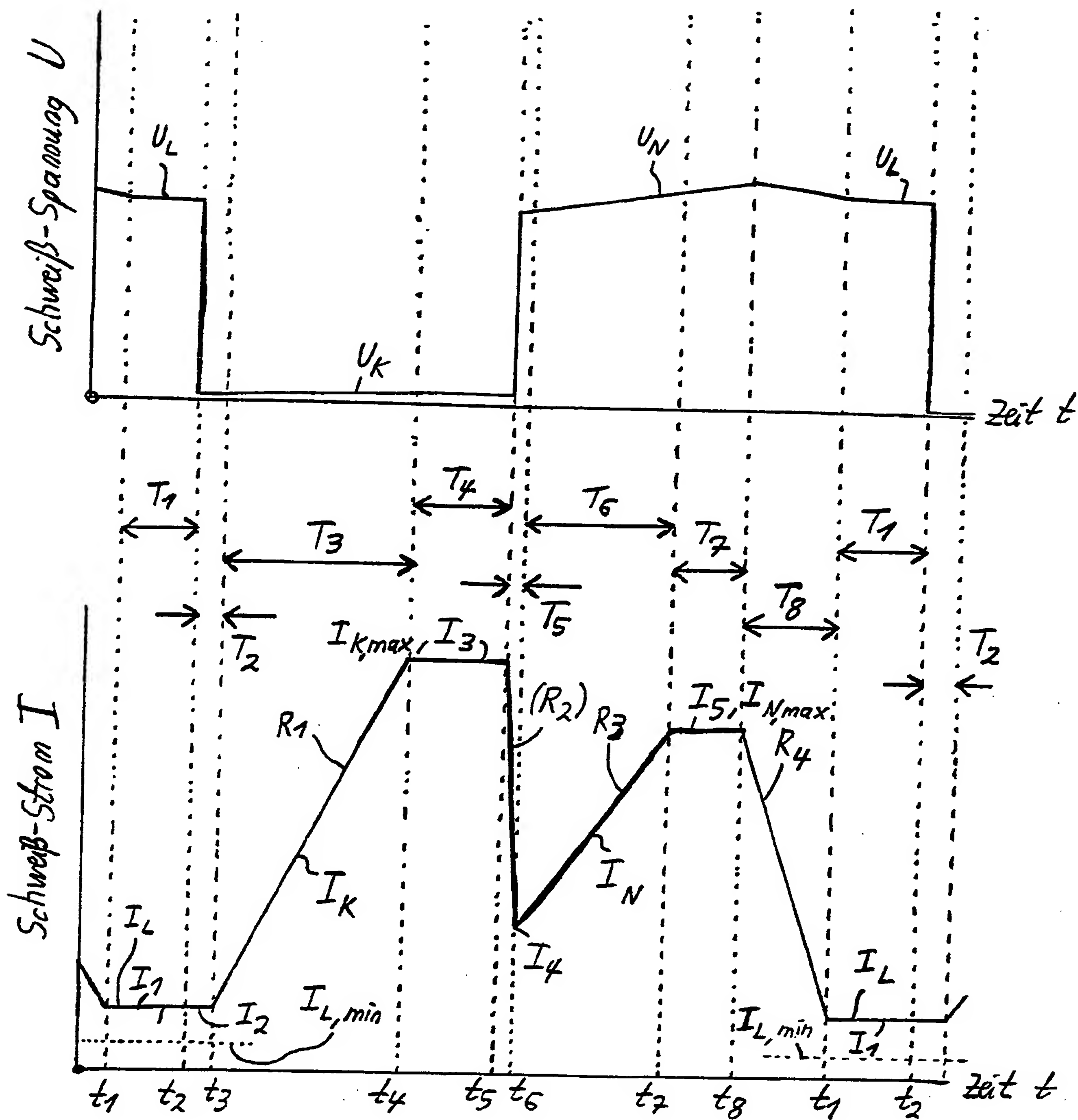


Fig. 4

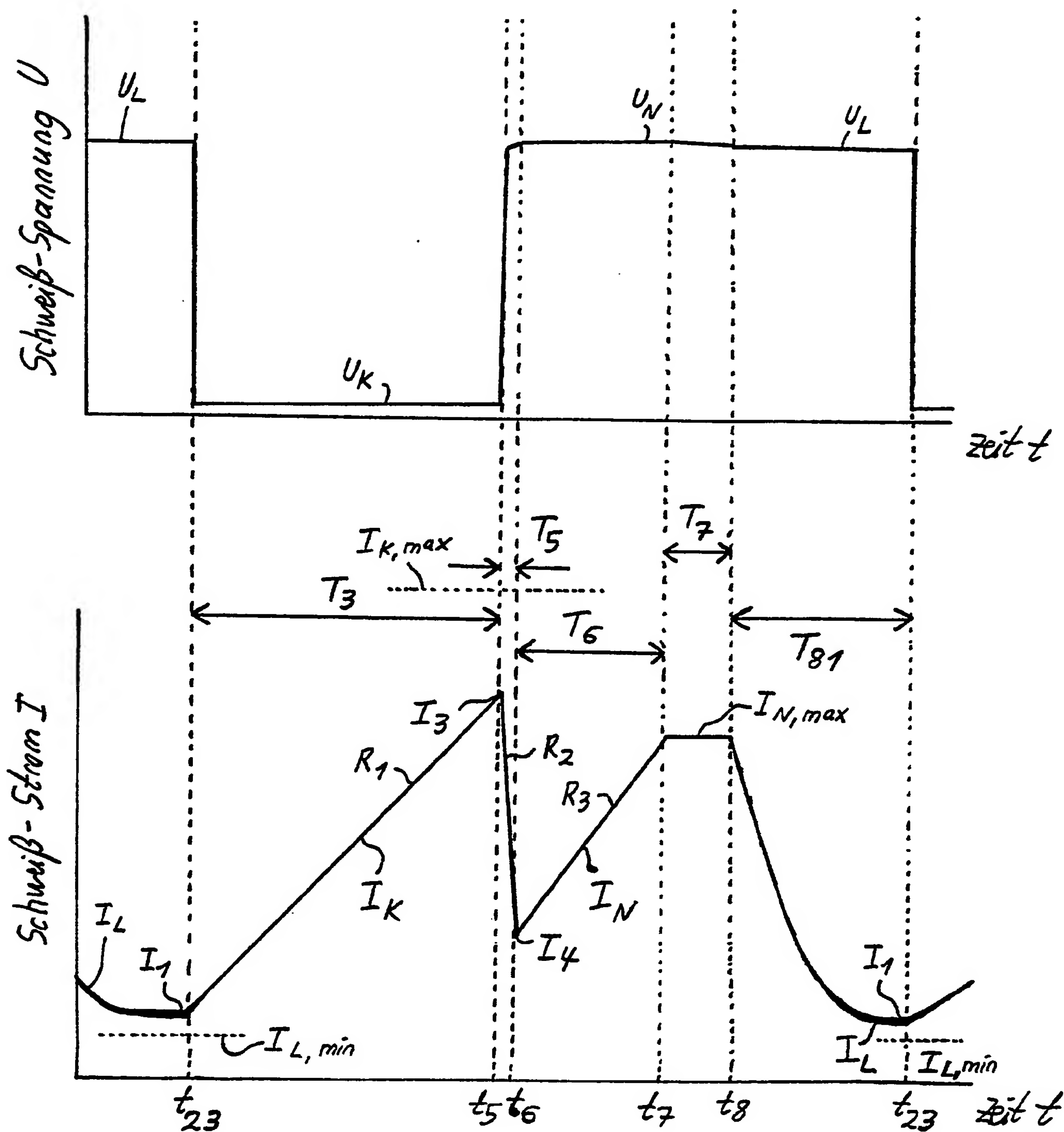


Fig. 5



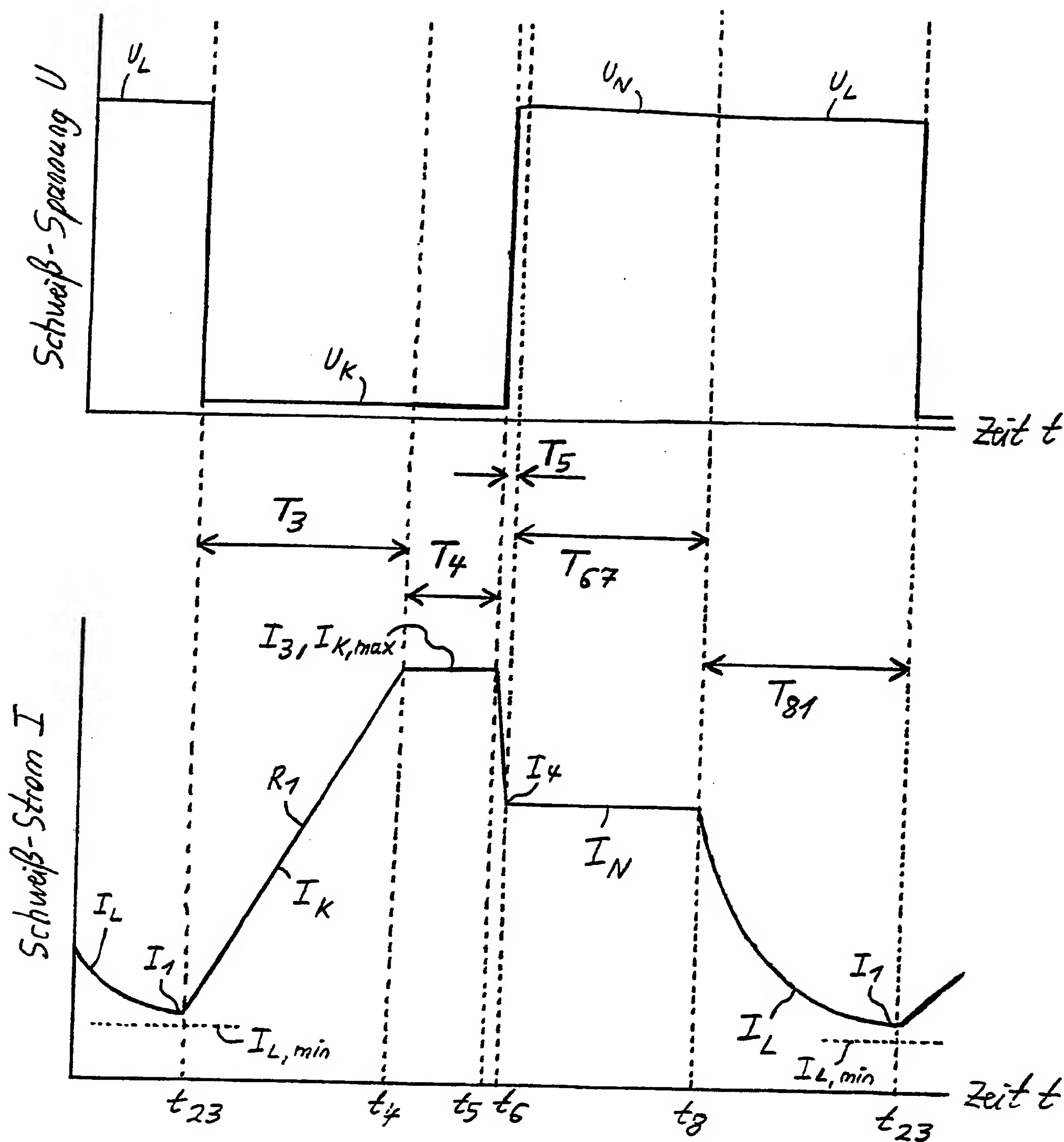


Fig. 6

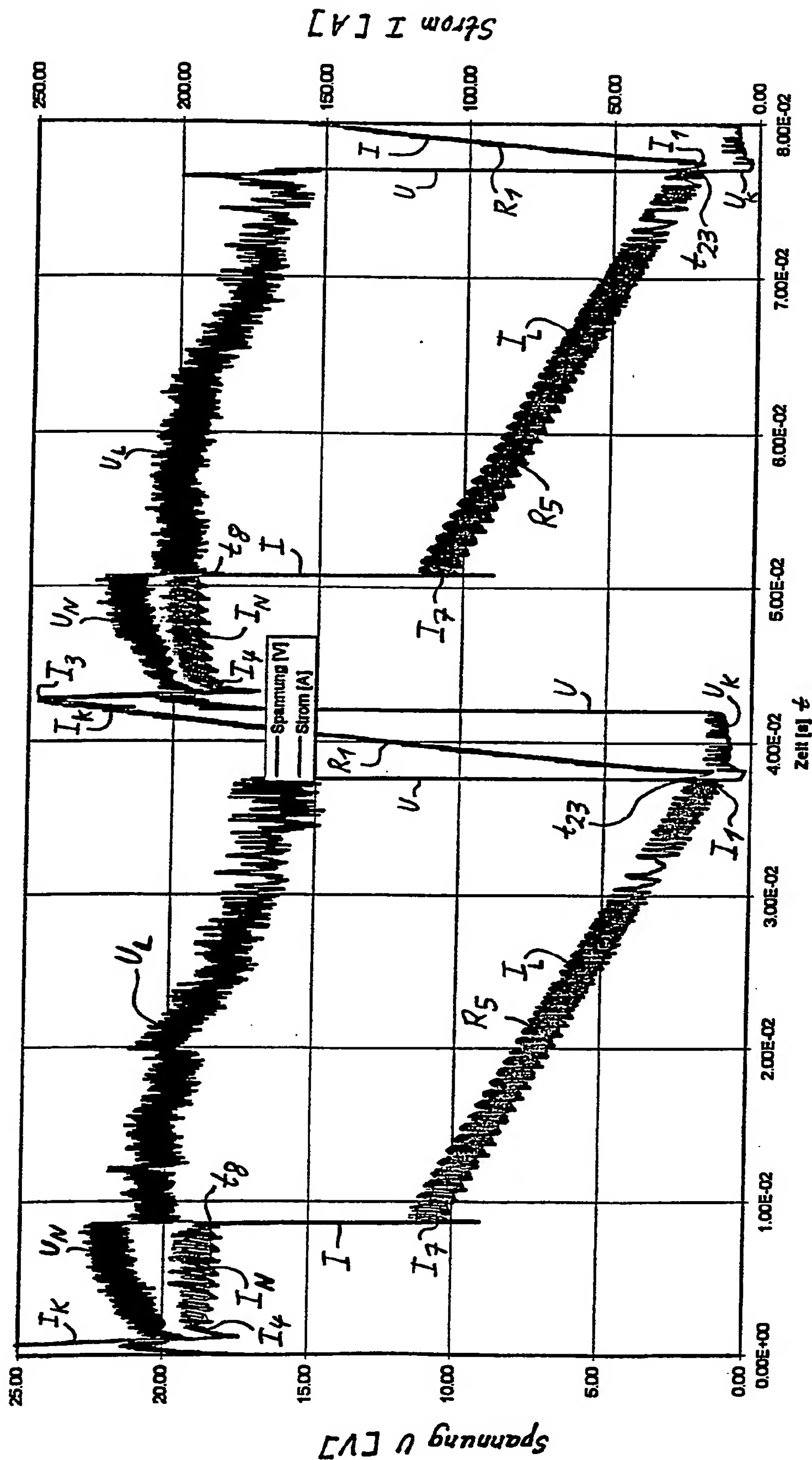


Fig. 7



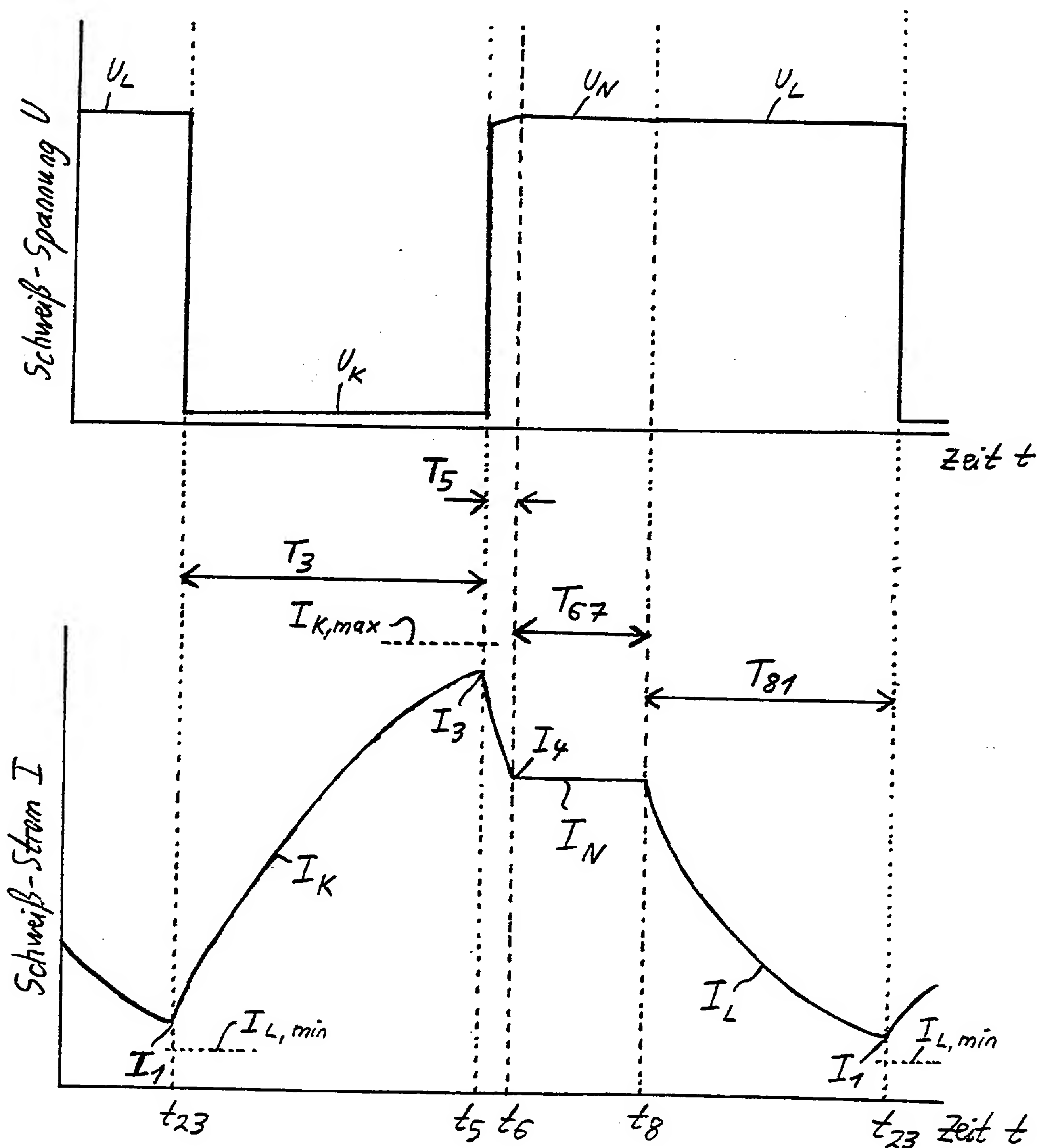


Fig. 8

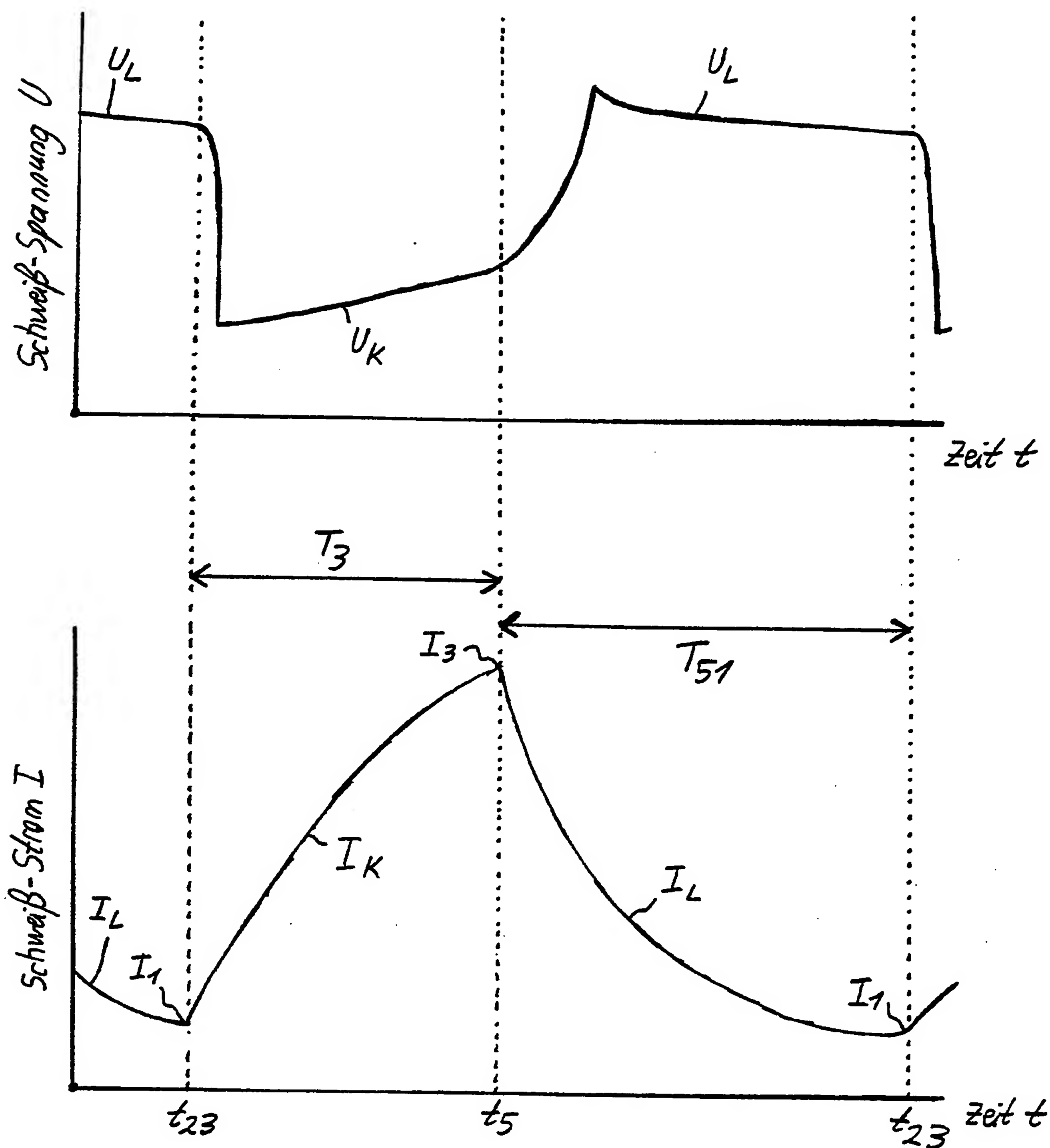


Fig. 9 - Stand der Technik

## Method for MIG/MAG electric arc welding to join two or more components made of light metals or alloys

Publication number: DE19808383

Publication date: 1999-09-02

Inventor: JUETTNER SVEN (DE); ARTELSMAIR JOSEF (AT)

Applicant: VOLKSWAGEN AG (DE)

Classification:

- international: **B23K9/09; B23K9/09**; (IPC1-7): B23K9/09; B23K9/095; B23K9/16

- european: B23K9/09B2B

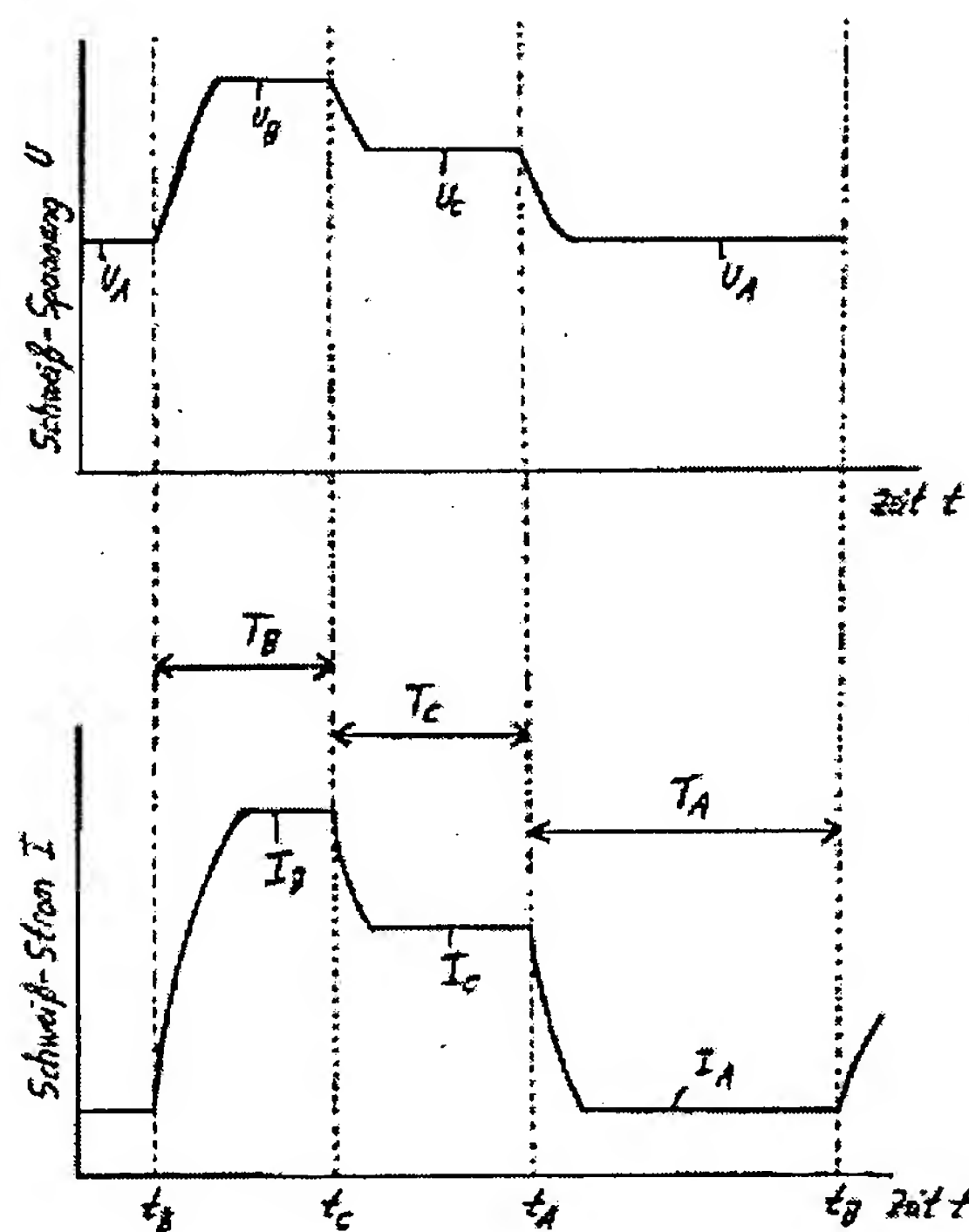
Application number: DE19981008383 19980227

Priority number(s): DE19981008383 19980227

[Report a data error here](#)

### Abstract of DE19808383

Between states B and A, the welding current source is always switched to a further state C with a welding current  $I_C$  whose intensity is lower than the pulse current  $I_B$  of the state B but higher than the basic welding current  $I_A$  of the state A.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



This Page Blank (uspto)